АКАДЕМИЯ НАУК
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ION-PLAZMA VA LAZER
TEXNOLOGIYALARI
INSTITUTI



ВОСЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

IPEC-8

СБОРНИК
ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Ташкент - 2021

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ИНСТИТУТ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ У.А.АРИФОВА

МИНИСТЕРСТВО ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Восьмая Международная конференция по Физической Электронике

IPEC-8

23-24 сентября 2021

Ташкент, Узбекистан

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Ташкент 2021

UZBEKISTAN ACADEMY OF SCIENCES

ARIFOV INSTITUTE OF ION-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES

MINISTRY OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Eighth International Conference on Physical Electronics

IPEC-8

September 23-24, 2021

Tashkent, Uzbekistan

BOOK OF ABSTRACTS

Tashkent 2021

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель:

Ашуров Х.Б. ИИПиЛТ АН РУз, Ташкент

Зам. председателя:

Курбанов М.Ш. ИИПиЛТ АН РУз, Ташкент

Члены программного комитета:

Бахрамов С.А. АН РУз, Ташкент
Бурханов Г.С. Ин-т металл., Москва
Баимова Ю.А. ИПСМ РАН, Россия
Галль Н.Р. ИАП, РАН, Россия
Гордиенко В.М. МГУ, Москва, Россия
Джурабекова Ф.Л. Хельсинки, Финляндия
Мирзаев С.З. АН РУз, Ташкент
К.Хираока Университет Яманаши, Япония
Никифоров А.И. ИФП СО РАН, Новосибирск
Оксенгендлер Б.Л. ИИПиЛТ АН РУз
Песин Л.А. ЮУГГПУ, Челябинск
Тураева Н.Н. Вебстерский унив., США
Турсунметов К.Е. НацУУз, Ташкент
Умирзаков Б.Е. ТашГТУ, Ташкент
Усманов Т.Б. ИИПиЛТ АН РУз, Ташкент
Усманов Д.Т. ИИПиЛТ АН РУз, Ташкент
Эрвье Ю.Ю. Томск, Россия

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель:

Ашуров Х.Б. ИИПиЛТ АН РУз, Ташкент

Зам. председателя:

Курбанов М.Ш. ИИПиЛТ АН РУз, Ташкент

Секретарь:

Усманов Д.Т. ИИПиЛТ АН РУз, Ташкент

Члены оргкомитета:

Исаханов З.А. ИИПиЛТ АН РУз
Каххаров А.М. ИИПиЛТ АН РУз
Кутлиев У.А. УрГУ, Ургенч
Касимов Б.Ш. ИИПиЛТ АН РУз
Салимбаев А.М. ИИПиЛТ АН РУз
Ядгаров Э.Дж. ИИПиЛТ АН РУз

Восьмая Международная конференция по физической электронике IPEC-8 // Сборник тезисов докладов. Ташкент, 2021. -224 с.

В тезисах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований в области физической электронике: взаимодействие атомов и молекул с поверхностью твердого тела (фундаментальные проблемы адсорбции, электронной и ионной эмиссии); физическая электроника (методы и приборы); ионно-лучевые и плазменные технологии получения и модификации материалов; новые технологии и материалы для солнечной энергетики и электроники; фотоника; физика и технология наноматериалов; взаимодействие лазерного излучения с веществом и лазерные технологии.

Eighth International Conference on Physical Electronics IPEC-8 // Book of Abstracts. Tashkent, 2021. – p. 224.

The results of theoretical and experimental research in the field of physical electronics (interaction of atoms and molecules with solid surface: fundamental problems of adsorption, electron and ion emission; physical electronics (techniques and instrumentations); ion-beam and plasma technologies for production and modification of materials; new technologies and materials for solar energy and electronics; photonics; physics and technology of nanomaterials; interaction of laser beams with substances and laser technology) are presented.

СЕКЦИЯ 1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ТВЕРДОГО ТЕЛА: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АДСОРБЦИИ, ЭЛЕКТРОННОЙ И ИОННОЙ ЭМИССИИ

SECTION 1. INTERACTION OF ATOMS AND MOLECULES WITH THE SURFACE OF A SOLID: FUNDAMENTAL PROBLEMS OF ADSORPTION, ELECTRONIC AND IONIC EMISSION

НОВЫЙ ЭМИТТЕР ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ: ИНТЕРМЕТАЛЛИД ЗОЛОТО-НАТРИЙ

М.В.Кнатько, М.Н.Лапушкин
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
lapushkin@ms.ioffe.ru

Теория и практика применения поверхностной ионизации (ПИ), впервые наблюдаемой при десорбции Cs с поверхности W К.Х. Кингдоном и И. Ленгмюром в 1923 году [1], были развиты в ФТИ им.А.Ф.Иоффе Н.И. Ионовым и Э.Я. Зандберг [2]. Дальнейшее развитие этого направления связано с исследованиями ПИ органических соединений проведенных У.Х. Расулевым [3].

На начальном этапе развития ПИ использовались эмиттеры из тугоплавких металлов, таких как W, Mo, Ir, Re. В работах по исследованию органических соединений У.Х. Расулев [4] начал широкое применение эмиттеров из окисленных металлов. Это было связано с тем, что для эффективной ПИ органических соединений требовались эмиттеры с большими значениями работы выхода, которой обладают окислы металлов. В дальнейшем к числу эмиттеров для ПИ добавились оксидные бронзы [4] и интерметаллические соединения золота со щелочными металлами [5].

Интерметаллические соединения золота со щелочными металлами удивительны двумя свойствами: во-первых, в них Au выступает в необычной для себя роли – аниона и, во-вторых, эти соединения могут быть полупроводниками. В [5] было показано, что Na_xAu_y является не только широкозонным полупроводником, но и его можно использовать при высоких температурах вплоть до 1350К. Применяемый эмиттер Na_xAu_y представляет собой пленку на поверхности Au.

Первые же исследования ПИ диэтиламина μ=73 Да (ДЭА) на поверхности Na_xAu_y дали неожиданный результат [6]. Так в масс-спектре (рис.1) регистрируются масс-линии с *m/z*, отвечающим соединениям с массой до двух раз больше, чем ДЭА, что не наблюдалось при ПИ ДЭА на окисленном W. Полученный результат указывает на протекание ассоциативных реакций на поверхности Na_xAu_y. При этом было показано, что эффективность ионизации на эмиттере Na_xAu_y не ниже, чем на окисленном W.

Исследования ПИ тетраметилтетразена $C_4H_{12}N_4$ μ=116 Да (ТМТ) на поверхности Na_xAu_y [7] подтвердили определяющее влияние ассоциативных реакций на формирование масс-спектра ПИ. В отличие от масс-спектра ТМТ на окисленном W, в котором регистрируется только молекулярный ион, в масс-спектре ТМТ на Na_xAu_y не наблюдается молекулярного иона, а регистрируется богатый спектр, как в области $m/z < 115$, так и при $m/z > 115$.

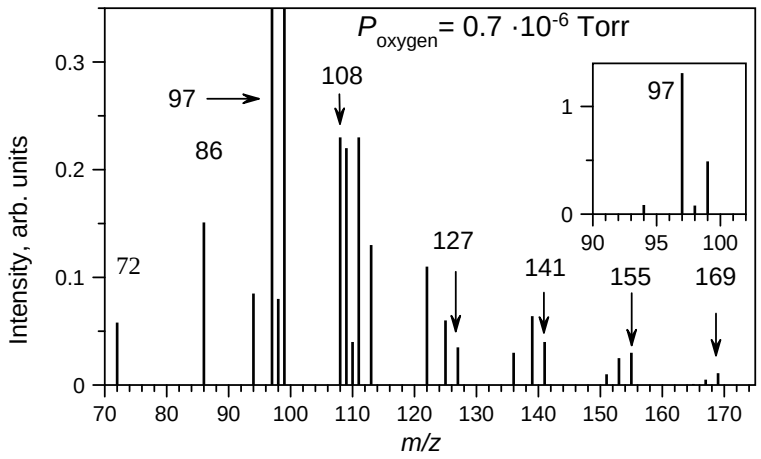


Рис.1. Масс-спектр ДЭА на Na_xAu_y при T=1050 K.

На поверхности Na_xAu_y была зарегистрирована ПИ уротропина $C_6H_{12}N_4$ μ=140 Да (УРТ) [8]. Молекулы УРТ является 3D-молекулами и представляет собой неправильный декаэдр, в отличие от всех ранее исследованных с помощью ПИ “плоских” молекул. Формирование масс-спектра ТИ УРТ отличается от формирования масс-спектров ТИ азотсодержащих соединений на металлах и окислах.

Определение работы выхода поверхности Na_xAu_y по полному току [8] дает величины намного большие, чем определяемые методом задерживающего потенциала по току Na^+, что связано с высокой эффективностью ПИ. Однако, причиной высокой эффективности может служить не большая величина работы выхода, а отличие механизма адсорбции на Na_xAu_y от таковой на металлах и окислах. Адсорбированное на Na_xAu_y соединение образует с частью твердого тела квазимолекулу, мономолекулярный распад которой происходит за счет выделения значительной энергии на разрываемых связях. Этой энергии достаточно для десорбции и ионизации продуктов реакции, что подтверждается не соответствием температуры распределения десорбирующихся ионов по кинетической энергии температуре эмиттера.

1. K.H. Kingdon, I. Langmuir. Phys.Rev., **21**, 380 (1923).
2. Н.И. Ионов, Э.Я. Зандберг. Поверхностная ионизация. М., Наука, 1969.
3. У.Х.Расулев. Взаимодействие многоатомных частиц с поверхностью. Избранные труды. Ташкент, 2011.
4. Э.Я. Зандберг, А.Г. Каменев, В.И. Палеев, У.Х. Расулев. Журн. Анал. Химии, **35**, 1188(1980).
5. М.В. Кнатько, М.Н. Лапушкин, В.И. Палеев. ЖТФ, **68**, 108(1998).
6. М.В. Кнатько, М.Н. Лапушкин, В.И. Палеев. ЖТФ, **74**, 99(2004).
7. M.V. Knatko, M.N. Lapushkin. Eur. J. Mass Spectrom., **26**, 1(2020).
8. М.В. Кнатько, М.Н. Лапушкин. Масс-спектрометрия, **16**, 323 (2019).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДИСЛОКАЦИЙ В ГРАФЕНЕ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Л.Х.Галиахметова[1], А.И.Клявлина[2], К.А.Крылова[1,2]
[1]Институт проблем сверхпластичности металлов, г. Уфа, Россия
[2]Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия
rysaeva.l.h@gmil.com

Дефекты кристаллической решетки, образованные преднамеренно или во время синтеза материала, оказывают большое влияние на механические, энергетические или тепловые свойства. Графен представляет собой моноатомный слой углерода, в котором каждый атом связан валентной связью с тремя соседями уложен в гексагональную решетку [1]. В настоящее время графен является одним из наиболее активно изучаемых наноматериалов благодаря своим уникальным механическим, физическим и оптическим свойствам, которые открывают возможности его использования в электронике, оптике, спинтронике и во многих других областях. Данный материал обладает высокой прочностью, которая может быть уменьшена при наличии дефектов [2]. Одним из распространённых дефектов является дефект Стоуна – Уэльса (СУ), который представляет собой пару дефектов 5-7 и возникает в результате вращения одной из связей С–С на угол 90˚, и может рассматриваться как дислокационный диполь с нулевым плечом. Дефект СУ часто наблюдают в графене с помощью электронной микроскопии [3].

В данной работе взаимодействие дислокационного диполя и его устойчивость рассматривается с помощью метода молекулярной динамики. Моделирование проводилось с помощью свободно распространяемого пакета LAMMPS с эмпирическим потенциалом межатомного взаимодействия AIREBO. После введения дефекта в расчетную ячейку, была проведена минимизация энергии в системе до достижения локального минимума энергии. Далее расчетная ячейка выдерживается при разных температурах от 1000 до 4000 К, для изучения устойчивости графена с дефектами, а также выявления особенностей динамики дефектов. Исследовано несколько диполей, отличающихся длиной плеча и, соответственно, поведением. На рисунке 1 представлены примеры дефектной решетки с диполями различной длины.

Эволюция конфигураций, состоящих из пяти дислокационных диполей с различными плечами проверялось на основе пятидесяти численных экспериментов. Процесс аннигиляции двух дислокаций в диполе с нулевым плечом начинается уже при температуре 1400 К. С увеличением температуры вероятность аннигиляции дислокаций в диполе увеличивается и перескоки атомов с поворотом связи становятся более частыми.

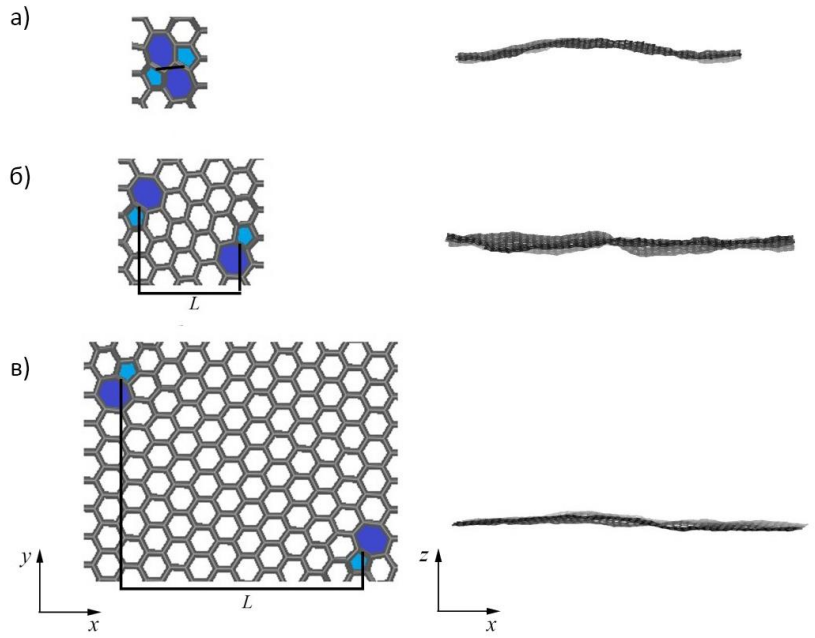


Рис.1. Кристаллическая решетка графена, содержащая диполи различной длины (а) L=0 Å, (б) L=9,3 Å, и (в) L= 30 Å, в проекции на плоскость xy и xz.

Результаты показали, что графен с дислокационными диполями остается устойчивым до высоких температур, близких к температуре плавления бездефектного графена. Повышение температуры приводит к скольжению дислокации, образованию нового диполя с другой длиной плеча или исчезновению дефекта из решетки графена из-за простого вращения связи C-C. Основным механизмом перемещения дислокаций является разрыв связи, что может привести к появлению новых дефектов 5-7 (дислокаций). Тепловые колебания приводят к образованию 6-атомных колец на месте дефекта. Дефект СУ, который одновременно является диполем с нулевым плечом легко исчезает из решетки уже при температуре 1400 К [4].

Работа поддержана грантом РНФ № 20-72-10112.

1. Geim A. K., Novoselov K. S. The rise of graphene. Nature Materials. – 2007. – V. 6. – P. 183.
2. Искандаров А.М., Умено И., Дмитриев С.В. Влияние температуры на прочность графена. Письма о материалах. – 2011. – Т.1, №3. – С. 143–146.
3. Ihara S., Itoh S., Kitakami J. Mechanisms of cluster implantation in silicon: A molecular dynamic study. Phys. Rev. B. 1998. V. 58, No. 16. P. 10736-10744.
4. Рысаева Л.Х., Клявлина А.И. Динамика дислокационного диполя в графене при конечных температурах, 2019. ФПСМ. Т.16. № 2. С. 149-153.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБРАБОТКИ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИТА ГРАФЕН-НИКЕЛЬ

Л.Р.Сафина[1], К.А.Крылова[1,2], Р.Т.Мурзаев[2], Ю.А.Баимова[2]
[1]*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа,*
[2]*Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа.*
saflia@mail.ru

На механические характеристики композитов металл-графен могут влиять различные факторы, такие как способ обработки, температура при которой проводится эксперимент, соотношение количества атомов металла и углерода и т.д. Экспериментальные исследования по-прежнему трудоемки и дороги, поэтому проще исследовать композиты металл-графен и прогнозировать механические свойства путем моделирования. Метод молекулярной динамики (МД) является эффективным способом изучения физических и механических свойств материалов в атомарном уровне. В данной работе рассматривается влияние температуры обработки на процесс формирования композита графен-никель. Численные эксперименты проводились в свободно распространяемом пакете МД моделирования LAMMPS. Для описания межатомных взаимодействий применяются два потенциала – потенциал AIREBO для взаимодействия углерод-углерод и потенциал Морзе для описания взаимодействия никель-никель и никель-углерод. Параметры для потенциалов были выбраны из предложенных в работах [1, 2].

В качестве матрицы композита используется скомканный графен, который состоит из 64 свернутых чешуек (в одной чешуйке графена 252 атомов углерода) и заполняется наночастицами никеля. Чтобы определить влияние размера наночастиц никеля на механические свойства композита, исследуются несколько разных диаметров металлических кластеров, состоящие из 21 (ø6,2 Å), 47 (ø9,0 Å) и 78 (ø10,4 Å) атомов. Первым этапом структуры выдерживаются при температуре 300 К. Далее, чтобы сформировать единый композитный материал, к начальной, довольно рыхлой, структуре прикладывается гидростатическое сжатие при 1000, 1200, 1500, 1800 и 2000 К. В работе [3] показано, что для получения однородного прочного композитного материала необходимо использовать повышенные температуры. Для оценки прочности, полученные композиционные материалы подвергаются одноосному растяжению. На рис. 1 показаны кривые напряжение-деформация после одноосного растяжения. Модуль Юнга усредненная по пяти температурам посчитана для всех трех композитов и приблизительно составляет: графен-Ni_{21} – 249 ГПа; графен-Ni_{47} – 245 ГПа и графен-Ni_{78} – 230 ГПа.

Важно отметить, что все структуры, сформированные при разных температурах, выдерживают высокие степени деформации. Максимальное растягивающее напряжение достигается для композита с Ni_{21}, примерно 120 ГПа (рис. 1а). В такой структуре появление новых химических связей

между соседними чешуйками графена при температурах, как 1000-2000 K, облегчается из-за небольшого размера наночастиц.

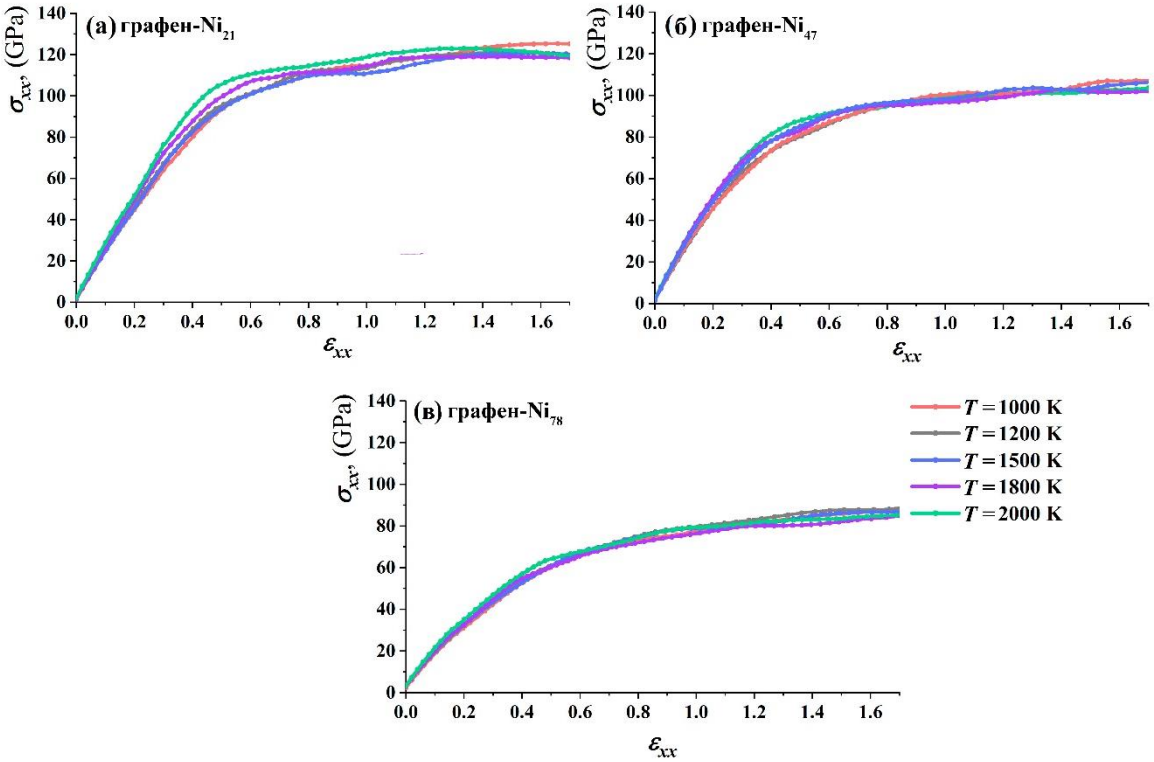


Рис.1. Кривые давление-деформация при одноосном растяжении для структур с (а) Ni_{21}, (б) Ni_{47} и (в) Ni_{78}, полученные гидростатическим сжатием при различных температурах.

В работе показано, что в диапазоне температур от 1000 K до 2000 K композиты могут быть успешно получены для любого количества атомов Ni. Однако, с увеличением размера наночастиц уменьшается прочность композита. Следует отметить, что чем меньше температура, тем легче реализовать процесс получения композита экспериментально и с этой точки зрения лучше использовать 1000 K.

1. Girifalco L. A., Weizer V. G. Application of the Morse potential function to cubic metals. Physical Review, 1959, 114, 687-690.
2. Galashev A.Y., Katin K.P., Maslov M.M. Morse parameters for the interaction of metals with graphene and silicone. Phys. Lett. A, 2019, 383, 252-258.
3. Safina L.R., Baimova J.A., Krylova K.A., Murzaev R.T., Mulyukov R.R. Simulation of metal-graphene composites by molecular dynamics: a review. Letters on Materials, 2020, 10, 3, 351-360.

АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАВОДОРОЖЕННОГО СКОМКАННОГО ГРАФЕНА С РАЗНЫМ ДИАМЕТРОМ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Н.Г.Апкадирова[1], К.А.Крылова[1,2]
[1]ИПСМ РАН, г. Уфа, 2УГНТУ, г. Уфа
apkadirovanerkes@gmail.com

На сегодняшний день проведено большое количество теоретических и экспериментальных исследований по изучению поведения скомканных тонких листов графена [1-3]. Было показано, что скомканные структуры обладают свойствами, благодаря которым они устойчивы к сжатию и растяжению [2,3]. Важными преимуществами углеродных конструкций являются большая удельная поверхность и высокая скорость адсорбции газов, что позволяет прогнозировать их использование в водородной энергетике в качестве среды для хранения и транспортировки водорода.

Различные структурные параметры могут влиять на степень накопления водорода в чешуйке графена [4]. В данной работе показано влияние диаметра наночешуек скомканного графена (СГ) на его сорбционную способность.

На рис. 1 (а) и (б) представлены исходные структуры СГ, отличающиеся диаметром углеродных чешуек. Чешуйки меньшего диаметра (9,5 нм) созданы из углеродных нанотрубок хиральностью (7,7), а большего (20 нм) - (15,15) (рис. 1 (а) и (б) соответственно), но их длина не отличалась и была равна 2,5 нм. Для удобства, обозначим скомканный графен с меньшим и большим диаметром чешуек $D_{9,5}$ и D_{20} соответственно. Во внутреннюю полость чешуек графена помещалось 224 атома водорода (атомы темного цвета на рис. 1). Для уплотнения структур скомканного графена применялось гидростатическое сжатие до степени деформации ε = 0,8 при температуре 1 K. Процесс разводораживания скомканного графена исследовался при температурах 77 и 300 K.

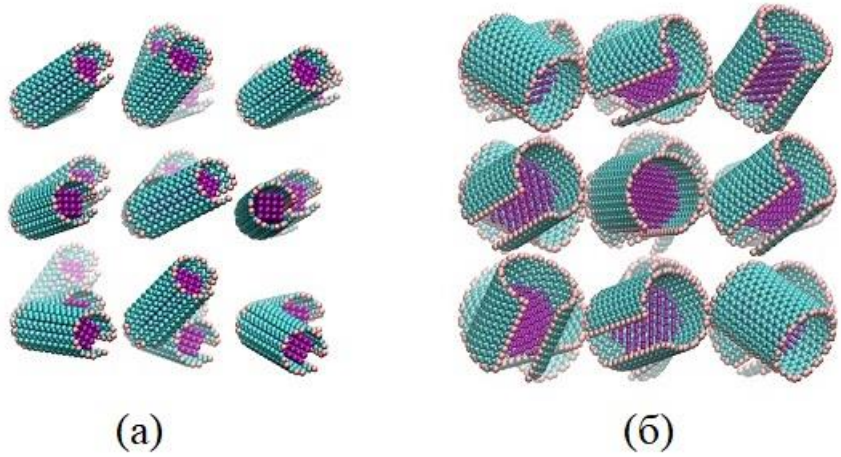


Рис.1. Структура СГ с диаметром наночешуек: (а) 9,5 нм; (б) 20 нм

Молекулярно-динамическое моделирование проводилось с использованием общедоступного и широко применяемого программного пакета LAMMPS. Для описания межатомного взаимодействия использовался многочастичный потенциал Airebo [5], который неоднократно эффективно применялся при изучении деформационных процессов в трехмерных углеродных структурах, а также при исследовании разводораживания углеродных структур [6].

Установлено, что сорбционная способность СГ зависит от диаметра наночешуек его структурных элементов. Чем больше площадь удельной поверхности СГ (т.е. чем больше радиус графеновых чешуек), тем выше его физическая сорбция. Отметим, что молекулы водорода внутри наночешуек скомканного графена удерживаются углеродной поверхностью при 77 К с помощью сил Ван-дер-Ваальса, которая разрушается при нагревании до 300 К, благодаря чему происходит разводораживание скомканного графена.

Полученные данные расширили понимание использования углеродных структур в качестве среды для хранения и транспортировки водорода.

1. Meyer, J.C.; Geim, A.K.; Katsnelson, M.I.; Novoselov, K.S.; Booth, T.J.; Roth, S. The structure of suspended graphene sheets. Nature 2007, 446, 60–63. doi:10.1038/nature05545.
2. Tallinen, T.; Åström, J.A.; Timonen, J. The effect of plasticity in crumpling of thin sheets. Nature Materials 2008, 8, 25–29. doi:10.1038/nmat2343.
3. Matan, K.; Williams, R.B.; Witten, T.A.; Nagel, S.R. Crumpling a Thin Sheet. Physical Review Letters 2002, 88. doi:10.1103/physrevlett.88.076101.
4. Wu, C.D.; Fang, T.H.; Lo, J.Y. Effects of pressure, temperature, and geometric structure of pillared graphene on hydrogen storage capacity. International Journal of Hydrogen Energy 2012, 37, 14211–14216. doi:10.1016/j.ijhydene.2012.07.040.
5. S. Stuart, A. Tutein, J. Harrison. Chem J. Phys/ Journal of Chemical Physics. 2000. № 14, pp. 6472.
6. K.A. Krylova, J.A. Baimova, I.P. Lobzenko, A.I. Rudskoy // Physica B: Physics of Condensed Matter. 2020. 583, 412020.

EFFECT OF LIPID NITRO-OXIDATION INDUCED BY COLD ATMOSPHERIC PLASMA ON THE PROPERTIES OF PHOSPHOLIPID BILAYER: COMPUTATIONAL STUDY

M.Yusupov[1,2], M.C.Oliveira[2,3], U.Khalilov[1,2], R.M.Cordeiro[3], A.Bogaerts[2], S.Mirzaev[1]

[1]*Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

[2]*University of Antwerp, Antwerp-Wilrijk, Belgium*

[3]*Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, Brazil*

maksudbek.yusupov@uantwerpen.be

Cold atmospheric plasma, i.e., an ionized gas near room temperature, has shown potential selective anticancer capacity [1], although the underlying mechanisms remain unclear. Using computer simulations, we try to shed light on the mechanism of selectivity, based on the phospholipid bilayer (PLB), a model system for the cell membrane. Specifically, we apply non-reactive molecular dynamics simulations to study the effects of lipid oxidation and nitration on the structure and dynamics of the PLB [2-5]. Our simulation results reveal that both oxidation and nitration of lipids in the PLB affect the structural and dynamic properties of the membrane, thereby increasing its permeability. Oxidized lipids can lead to the formation of pores in the PLB, which facilitates the penetration of reactive plasma species into cell to cause oxidative damage. Nitrated lipids, on the other hand, results in a threefold increase in water permeability compared to oxidized lipids, which is associated with conformational changes in the PLB.

We thank Universidade Federal do ABC for providing the computational resources needed for completion of this work and CAPES for scholarship granted. We also acknowledge the Turing HPC infrastructure at the CalcUA core facility of the University of Antwerp (UA), a division of the Flemish Supercomputer Center VSC, funded by the Hercules Foundation, the Flemish Government (department EWI) and the UA, where part of the computational work was performed.

1. Keidar M., Plasma Sources Sci. Technol. 24, 033001 (2015)
2. Yusupov M. et al., Biochim. Biophys. Acta 1861, 839 (2017)
3. Yusupov M. et al., Sci. Rep. 7, 5761 (2017)
4. Razzokov J. et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 51, 365203 (2018)
5. Oliveira M. C. et al., Arch. Biochem. Biophys. 695, 108548 (2020)

ДВИЖЕНИЕ АТОМОВ НА ГРАНИЦЕ МЕТАЛЛОВ Mg, Al: АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

П.В.Полякова[1], Ю.А.Пухачева[2]
[1]*Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа.,*
[2]*Башкирский государственный университет, г. Уфа.*
polina.polyakowa@yandex.ru;

Современная промышленная индустрия требует создания материалов, способных работать при экстремальных температурах и сохраняющих при этом высокие прочностные характеристики. Сплавы магния (Mg) в последнее время являются актуальной темой исследований, поскольку подобные материалы обладают малым удельным весом и плотностью, что открывает широкие возможности применения в автомобильной и аэрокосмической промышленности. Однако магний обладает довольно низкими механическими характеристиками, что значительно ограничивает применение данного металла. Именно поэтому сейчас так актуальна тема поиска новых возможностей получения композитов на основе различных металлов, которые обладают улучшенными механическими свойствами. Одним из возможных способов получения металлических композитов является кручение под высоким давлением (КГД) с последующим отжигом [1-3]. Однако, несмотря на обширность исследований в данной области, еще не до конца изучен процесс формирования композитной структуры. В связи с этим целью данной работы является изучение процесса перемешивания атомов на границе между алюминием и магнием под действием интенсивной пластической деформации. Исследование проводилось методом молекулярной динамики с использованием реалистичного межатомного потенциала [4].

На рис. 1 схематически представлена исходная структура композита Al-Mg. Подобные атомные структуры формируются путем непосредственного объединения двух совершенных кристаллов. Периодические граничные условия применяются во всех направлениях. В системе поддерживалось постоянство температуры 300 К с помощью термостата Носе-Хувера. Структура изначально была отрелаксирована при 300 К, в результате чего была найдена конфигурация с минимальной потенциальной энергией.

В качестве режима обработки было выбрано одноосное сжатие, перпендикулярное границе перемешивания атомов, в сочетании с деформацией сдвига. Было установлено, что ключевую роль в процессе перемешивания атомов играет деформация сдвига. Также было показано, что количество атомов магния, диффундирующих в матрицу Al, примерно равно количеству атомов Al, диффундирующих в матрицу Mg, что можно связать с приблизительным равенством их атомных радиусов и масс [5].

После комбинированного сжатия до $\varepsilon_{zz} = 0{,}16$. был проведен отжиг при 450 ^{o}C, аналогично ранее проведенным экспериментам [1-3]. Однако,

значительных изменений положения атомов близи границы перемешивания обнаружено не было, что может быть связано с неправильным выбором температур отжига, либо с ограниченностью методов компьютерного моделирования.

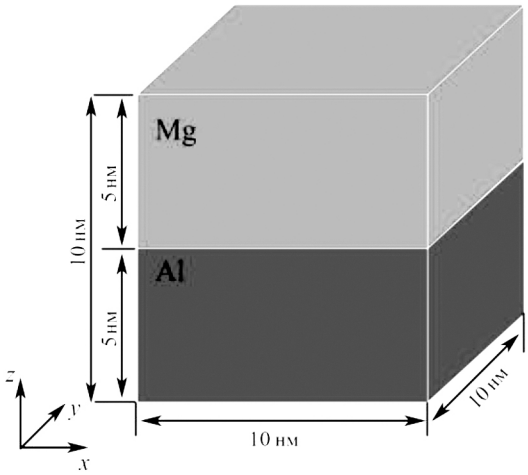


Рис. 1. Схема исходной структуры композита Mg-Al.

Молекулярно-динамическое моделирование позволило на атомистическом уровне исследовать перемешивание атомов Mg и Al после деформации сжатием со сдвигом. Установлено, что одноосное сжатие комбинированное с деформацией сдвига является эффективным способом перемешивания разнородных атомов, поскольку деформация ускоряет диффузию. Деформация сдвига играет важную роль и значительно ускоряет перемешивание атомов. Анализ структуры показал, что атомы Al легче диффундируют в Mg-часть композита, чем атомы Mg в Al-часть композита. Однако, необходимы дополнительные исследования, чтобы исключить влияние различных факторов на процесс формирования композитной структуры.

Работа поддержана грантом РНФ № 18-12-00440

1. V.N. Danilenko, G.F. Korznikova, A.P. Zhilyaev, S.N. Sergeev, G.R. Khalikova, R.Kh. Khisamov, K.S. Nazarov, L.U. Kiekkuzhina, R.R. Mulyukov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – V. 447 P. 012 - 021.
2. G.F. Korznikova, R.R. Mulyukov, A.M. Zhilyaev, V.N. Danilenko, R.Kh. Khisamov, K.S. Nazarov, S.N. Sergeyev, G.R. Khalikova, R.R. Kabirov // AIP Conference Proceedings. – 2018. – V. 2053. – P. 030-028.
3. V.N. Danilenko, S.N. Sergeev, J.A. Baimova, G.F. Korznikova, K.S. Nazarov, R. Kh. Khisamov, A.M. Glezer, R.R. Mulyukov // Materials Letters. – 2019. – V. 236. – P. 51-55.
4. M. Pozuelo, Y.W. Chang, J.M. Yang // Materials Science and Engineering. – 2014. – V. 594 – P. 203–211.
5. Polyakova P.V., Baimova J.A. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 1008 012052

ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЕЯНИЯ ИОНОВ NE^+ И AR^+ ПРИ МАЛОУГЛОВОМ РАССЕЯНИИ ПОВЕРХНОСТЬЮ INGAP(001)<110>

У.О. Кутлиев, М.К. Каримов, С.Б. Бобожонова,
К.У. Отабаева, М.У. Отабаев
Ургенческий государственный университет, Ургенч, Узбекистан
karimov_m_k@mail.ru

Большое количество физических процессов, протекающих в современных приборах, связано с поверхностью полупроводниковых материалов, её характеристиками и откликом на внешние воздействия. Широкое распространение тонкопленочных технологий, гетероструктур, а также нанотехнологий привело к необходимости изучения. В случае многокомпонентных материалов концентрации элементов на поверхности могут существенно отличаться от объемных. Состав моноатомного слоя поверхности оказывает влияние на величину работы выхода, высоту потенциального барьера и, в случае полупроводниковых материалов, определяет изгиб зон. Совершенство структуры этого слоя сказывается на стабильности характеристик прибора.

Воздействие потока заряженных частиц (ионов) на поверхность твердого тела сопровождается рядом явлений, одним из которых является рассеяние на ее атомах. В области средних энергий ($E_0 \geq 103$ эВ) в атомных взаимодействиях наряду с упругими столкновениями имеют место неупругие, связанные с ионизацией и возбуждением (т.е. с неупругой потерей энергии). С увеличением энергии E_0 доля не упруго рассеянных ионов увеличивается. Если энергия бомбардирующего иона такова, что время его взаимодействия значительно меньше периода колебаний атомов в решетке ($\sim 10^{-14}$с), то в этом случае энергией связи между атомами в твердом теле (~5–8 эВ) можно пренебречь и считать их свободными[1-2].

Нами смоделирована процесс рассеяния ионов Ne^+ и Ar^+ с начальной энергией E_0=1кэВ при бомбардировке поверхности InGaP(001) вдоль направления <110>. Углы скольжения $\psi=3^0$ и 7^0.

В данной работе использовано метод приближений парных столкновений, который дает хорошое согласие с экспериментальными результатами[3-4].

На рис.1а. приведены зависимости азимутального угла рассеяния φ от координаты прицельной точки, измеряемой от гребня поверхностного атомного ряда в поперечном направлении, для ионов Ne^+ с E_0=1кэВ при бомбардировке поверхности InGaP(001)<110> при $\psi=3^0$ и 7^0.

Вклад в отражение ионов атомной цепочки определяется шириной плоскости нал ее гребнем, в пределах, которой угол φ изменяется от нуля до максимума(φ_{max}). В данном случае $\varphi_{max}=30^0$ и ширина этой плоскости – Å. С увеличением J влияние соседних атомных цепочек на траектории ионов начинает возрастать. Значения φ имеют как положительные, так и отричательные, что свидетельствует о зигзагообразном траектории ионов от

поверхностными атомными цепочками In (I). Анализ траекторий ионов показывают, что при J=4 Å ионы, преодолев барьер поверхностных атомных цепочек, начинают проникать во внутрь полуканала.т.е. они отражаются от стенки полуканала, состоящих из пар атомов In-P (II). При дальнейших увеличениях значении J, ионы отражаются от данного полуканала (III) и начиная с значении J=5 Å ионы отражаются от стенки полуканала, состоящих из пар атомов Ga - P(IV). Область в зависимость после значении J=6 Å относятся к ионам рассеянных от атомной цепочки Ga.

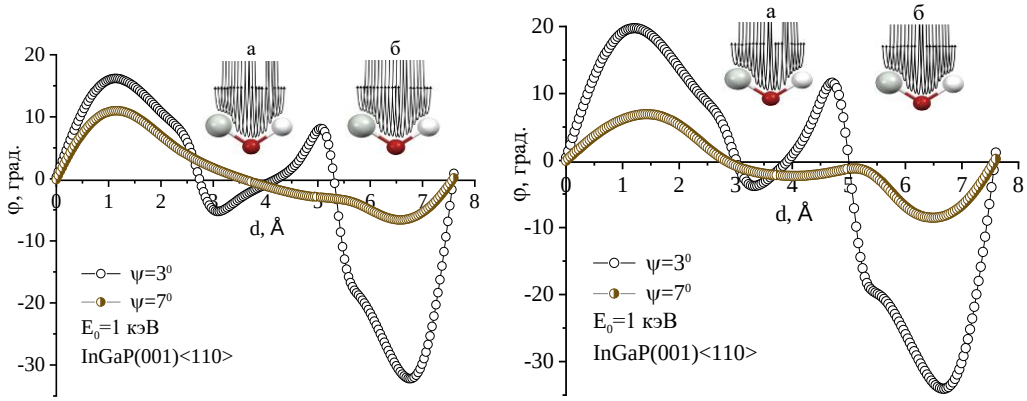


Рис.1. Зависимости φ(J) для ионов Ar^+ с E_0=1кэВ при бомбардировке поверхности InGaP(001)<110> при ψ=3^0 и 7^0.

На рис.1б. приведены зависимости φ(J) для ионов Ar^+ с E_0=1кэВ при бомбардировке поверхности InGaP(001)<110> при ψ=3^0 и 7^0. По этой зависимости рассеянный ионов можно разделить на групп, который можно описывать рассеяния ионов от поверхностной атомной цепочки (I), между дном и атомной цепочки (II), от полуканала (III), дном полуканала и соседним (IV) атомным цепочкой, от соседней атомной цепочкой(V). Отметим, что при рассеянии ионов от атомных цепочек (I и V), происходит рассеяния на большие азимутальные углы. Сравнения зависимостей φ(J) для ионов Ne^+ и Ar^+ показывает, что диапазон группы III для ионов Ar^+ меньше, чем для ионов Ne^+. Это свидетельствует об ослаблении фокусирующего влияния полуканала.

1. Karimov M K, Kutliev U O, Otaboeva K U and Otaboev M U 2020 Journal of Nano- and Electronic Physics 12(5) 05032 3
2. Karimov M K, Kutliev U O, Matchonov Kh J, Otabaeva K U, Otabaev M U. 2020 International Journal of Advanced Science and Technology 29(04), 9773
3. Mashkova E S and Molchanov V Medium-Energy Ion Reflection from Solids, Amsterdam: North-Holland, 1985.
4. Parilis E S, Kishinevsky L M, Turaev N Yu, Baklitzky B E, Umarov F F, Verleger V Kh, Nizhnaya S L, Bitensky I S, Atomic collisions on solid surfaces. (North-Holland, Amsterdam, 1993).

ЭФФЕКТ КИРКЕНДАЛЛА И ЗАКОН «3/4»

К.А.Турсунметов
Национальной университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан
kamiljan47@yandekx.ru

Американский металлофизик Киркендалл обнаружил в 1947 году эффект, в котором при нагревании сплавов меди атомы легкоплавкого компонента выходят на поверхность сплава. Этот эффект имел большое значение, т.к. все сложные термоэлектронные катоды, в том числе металлосплавные катоды, формируются на основе этого эффекта. В этих катодах при нагревании их в вакууме атомы легкоплавкого компонента: барий, цезий, торий, церий и т.д. выходят на поверхность катодов и образуя пленки или островки пленок этих атомов, уменьшают работу выхода катодов.

Воспользуясь этим эффектом, с целью разработки эффективных эмиссионных систем сплав-о-Cs, нами были исследованы состав поверхности ряда сплавов методом электронной ОЭС. Нами ранее показаны условия возможности образования однородной эпитаксиальной пленки атомов легкоплавкого компонента на поверхности сплавов при концентрации (1-3)% ат. легкоплавкого компонента и при соотношении температуры плавления легкоплавкого компонента $T_л$ к температуре плавления тугоплавкого компонента $T_т$:

$$\alpha = T_л / T_т = 0.75 \pm 0.02, \qquad \text{т.е. закон } T_л / T_т = 3/4.$$

Нами были изучены сплавы тугоплавких металлов с цирконием и гафнием при их концентрации 1%, 3%, 10% ат. Относительно оптимальным значением концентрации кислородо-активного металлов (Zr или Hf) оказался 3% ат. При значении концентрации 1% время образования однородной пленки легкоплавкого компонента на поверхности сплава оказывается длительным (больше часа при Т = 1600-1700 К). При более высоких концентрациях (10% ат.) циркония или гафния в сплаве на их поверхности образуются более толстая пленка со структурой этих компонентов и эмиссионные свойства таких систем были почти аналогичны эмиссионным свойствам Zr-O-Cs и Hf-O-Cs .

Целью настоящей работы – исследовать ряд сплавов циркония и гафния методом термоэлектронной эмиссии и ОЭС для проверки выполнения эффекта Киркендалла и закона «3/4».

Итоговые результаты исследования термоэлектронных свойств с контролью состава поверхности сплавов тугоплавких металлах с 3% ат. примеси легкоплавкого компонента приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы, предъявленным требованиям к образованию однородной пленки атомов легкоплавкого компонента (закону «3/4») отвечают сплавы: Ta-Hf, Mo-Zr и Nb-Zr.

Учитывая факт, что тип кристаллической решетки в рассматриваемых системах один и тот же, т.е. у адсорбатов (сплавов) – ОЦК и у адсорбентов (легкоплавкой компоненты сплавов) – ГПУ, и что температура плавления характеризует энергию взаимодействия атомов кристаллической решетки, были сопоставлены отношения температур плавления компонентов сплавов и их эмиссионные свойства в системе сплав-к-Cs (см. табл.1). В случаях, когда отношение температуры плавления легкоплавкого компонента $T_л$ к температуре плавления тугоплавкого компонента $T_т$ меньше 0.75=3/4, реализуется послойный рост пленки легкоплавкой компоненты по эффекту Киркендалла. Однако, целостность (однородность) и эпитаксиальность пленки не сохраняется при более высоких температурах, что подтверждается экспериментами.

Таблица 1

№	Сплавы	$T_Л - T_Т$	$T_Л / T_Т$	Характер адпленки	φ_{min} (эВ) системы сплав-O-Cs
1.	W-Hf	1200	0.67	неоднородная	1.39±0.03
2.	Ta-Hf	776	$0.76 \approx 3/4$	однородная	1.20±0.03
3.	W-Zr	1573	0.57	неоднородная	1.45±0.03
4.	Mo-Zr	773	$0.73 \approx 3/4$	однородная	1.22±0.03
5.	Nb-Zr	663	$0.76 \approx 3/4$	однородная	1.18±0.03
6.	Nb-Hf	248	0.91	неоднородная	1.40±0.03

В случаях $T_л/T_т>0.75$ при прогреве сплава в вакууме на его поверхности реализуется островковый рост пленки легкоплавкого компонента и только при больших концентрациях (10% ат. и более) последнего, возможно, растут островки в виде плоских образований или сферической формы с последующим образованием пленки со структурой, отличающейся от структуры подложки.

Проведенные теоретические расчеты энергии взаимодействия атомов металлов ОЦК структуры показали, что отношение энергии взаимодействия поверхностного атома к энергии взаимодействия атома, находящегося в объеме равно ~3/4, что энергетически подтверждается вышеизложенный критерий.

Таким образом, в случае изготовления сплава из тугоплавкого и легкоплавкого кислородо-активного (~3% ат.) металлов с температурами плавления $T_л$ и $T_т$, подобранных так, что $T_л/T_т$~3/4 (0.75±0.02) с последующим нагреванием его в вакууме до стабилизации работы выхода электрона, на поверхности сплава, по эффекту Киркендала образуется однородная субмонослойная пленка из атомов легкоплавкого компонента со структурой подобной структуре подложки. Окисление в атмосфере кислорода таких систем позволяет получить двумерные окислы на поверхности, а в потоке атомов цезия достичь минимальной работы выхода системы на уровне 1.2 эВ.

ЗАВИСИМОСТЬ СОСТАВА И ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОН ОТ ГЛУБИНЫ ИОННО-ЛЕГИРОВАННОГО СЛОЯ ДЛЯ Si ИМПЛАНТИРОВАННОГО ИОНАМИ Ba^+

Н.М.Мустафоева, А.К.Ташатов, Л.Х.Азизова
Каршинский государственный университет, г. Карши, Узбекистан.
e-mail: mustafoyevan@gmail.com

В последнее годы резко возрос интерес получению и изучению свойств $BaSi_2$ являющееся перспективным материалом для фотоэлектрических материалов [1-4].

В настоящее время хорошо изучены состав, структура и свойства нанопленок силицидов металлов. Однако их изменения на различных глубинах переходного слоя силицид-кремний практический не исследованы. Поэтому настоящая работа посвящена изучению зонной структуры на поверхности и фиксированных глубинах приповерхностных слоев Si, имплантированного ионами Ba^+ с энергией E_0=0,5 кэВ при дозе насыщения.

В качестве объекта исследования выбран монокристаллический кремний Si(111) р-типа. Для достижения цели использованы методы оже-электронной спектроскопии (ОЭС), ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС) и спектроскопия упруго отраженных электронов (СУОЭ), что позволяли определить элементный и химический состав, величины квантового выхода, и параметры энергетических зон.

Экспериментальный прибор и методика измерений подробно описаны в работе [5]. Конструкция прибора позволяла в условиях высокого вакуума ($P \approx 5 \cdot 10^{-7}$ Па) исследовать состояние и свойства приповерхностпых слоев твердых тел методами вторичной и фотоэлектронной спектроскопии в сочетании с различными способами обработки (ионная и электронная бомбардировка, прогрев, лазерный отжиг). УФЭС были сняты при энергии фотогов $h\nu$=10,8 эВ, а ОЭС – при E_p = 3000 эВ. Наличие в приборе наряду с кремнием поликристаллического палладия позволило определить положение уровня Ферми в чистом я ионно-легированном слое кремнии. Последний определяли по величине зазора между высокоэнергетическими краями ФЭС, измеренными для чистого палладия и кремния, легированного ионами Ba^+ с разными дозами и энергиями.

В таблице преведены тип химической связи Si+Ba, положения потолка валентной зоны E_v, положения уровня Ферми E_F и и положения дно зоны проводимости E_c относительно уровня вакуума E_B, значения ширины запрещенной зоны E_g для некоторых фиксированных глубин приведены в таблице.

Из таблицы видно, что уровень ферми E_F на глубинах d ≥ 80 Å, где отсутствуют атомы Ba, расположен на ~0,3 эВ выше потолка валентной зоны

E_v. При приближении к поверхности, т.е. с ростом концентрации бария, положение уровня Ферми смещается в сторону дна зоны проводимостиv E_c и при $d \leq 25$ Å, где концентрация бария ~50 ат.%, он располагается в нижней части зоны проводимости.

Таблица 1

Состав и зонно-энергетические параметры для различных фиксированных глубин Si, имплантированных ионами Ba с E = 0,5 кэВ.

d, Å	**E_F, эВ**	**E_v, эВ**	**E_c, эВ**	**E_g, эВ**	**Состав**
25	2,3	3,1	2,3	0,8	BaSi+Ba
40	3,2	3,8	2,9	0,8	BaSi+$BaSi_2$+Ba
60	3,6	4,3	3,2	0,9	$BaSi_2$+Si
80	4,3	4,6	3,5	1,1	Si
Чистый Si (111)	4,5	4,8	3,7	1,1	Si

Установлено, что ионная имплантация Ba^+ в Si приводит к изменению параметров энергетических зон и плотности состояния электронов валентной зоны, к увеличению квантового выхода фотоэлектронов кремния. Наблюдаемые изменения обусловлены как образованием химических связей между атомами Ba и Si, так и возникновением новых электронных состоянии в запрещенной зоне из-за наличия несвязанных атомов бария. Физико-химические свойства кремния, легированного ионами Ba^+ с E_0=0,5 кэВ высокой дозой, до глубины 25÷30 Å заметно не изменяются, т.е.в приповерхностной области образуется почти однородный слой. Между этим слоем и нелегированной областью имеется переходной слой, толщина которого составляет ~40-50 Å.

1. Дубов В.Л., Фомин Д.В. $BaSi_2$ – перспективный материал для фотоэлектрических преобразователей(обзор)// Успехи прикладной физики, 2016, том 4, № 6
2. Migas D.B., Shaposhnikov V.L., and Borisenko V.E., Phys. Stat. Sol. (B) 7, 2611 (2007).
3. Masakazu Baba, Katsuaki Toh, Kaoru Toko, Noriyuki Saito, Noriko Yoshizawa, Karolin Jiptner, Takashi Sekiguchi, Kosuke O. Hara, Noritaka Usami, Takashi Suemasu, Journal of Crystal Growth, No. 348, 75 (2012)
4. Katsuaki Toh, Kosuke O. Hara, Noritaka Usami, Noriyuki Saito, Noriko Yoshizawa, Kaoru Toko, Takashi Suemasu,Journal of Crystal Growth, No.345, 16 (2012).
5. Нормурадов М.Т., Умирзаков Б.Е. Энергетические спектры поверхности твердых тел, имплантированных ионами низких энергий. Ташкент: Фан, 1989. 156 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАССЕЯНИЯ АТОМОВ АЗОТА НА ФУЛЛЕРЕНАХ C_{60}

Д.В.Алябьев[1], И.Д.Ядгаров[1], Ю.А.Баимова[2], Ф.Ф.Умаров[3]
[1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан, iyadgarov@mail.ru
[2]Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа,
[3]Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан.

Используя программный пакет LAMMPS, нами были проведены модельные эксперименты по рассеянию атомов азота на фуллеренах C_{60} с энергиями 2.5 и 10эВ. Ориентация рассеиваемых атомов была «на центр» фуллеренов, атомы были рассеяны случайным образом на полусфере фуллеренов (на каждый фуллерен приходился один рассеиваемый атом). Был использован потенциал Терсоффа [1]. Модельные эксперименты были проведены для фуллеренов с различной температурой (0К - «калибровочный» эксперимент, 200К и 300К, энергия фуллеренов перед нагреванием была минимизирована). Если для фуллеренов, при рассеянии на них атомов с энергией 2.5эВ преобладали процессы рассеяния и адсорбции (в соотношении 20%/80%), то для энергии 10эВ наблюдалось разрушение значительного количества фуллеренов. Для качественной оценки процесса взаимодействия атомов азота с фуллеренами, была прослежена динамика температуры уединенного фуллерена.

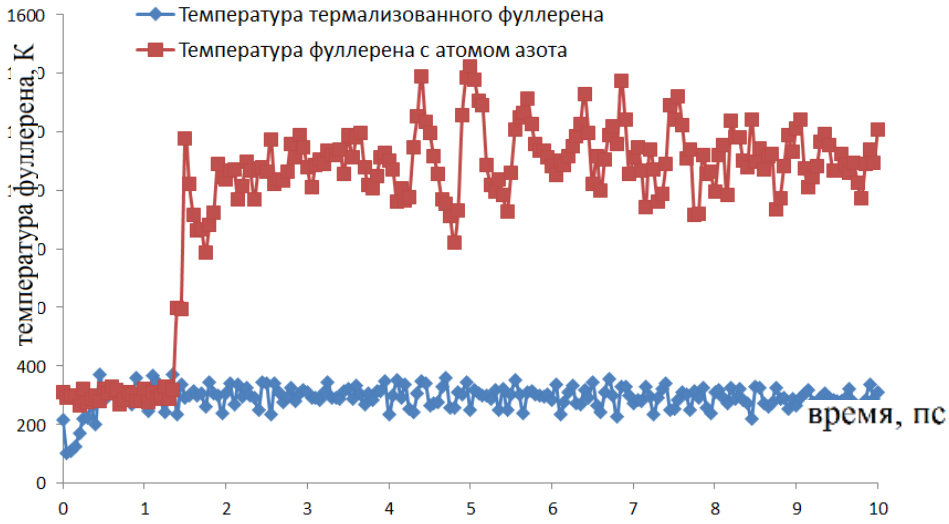


Рис.1. Динамика температуры единичного фуллерена (термализованный фуллерен и фуллерен, на котором рассеян атом азота)

График показывает, что температура фуллерена, провзаимодействовавшего с атомом азота, быстро стабилизируется, за время порядка пикосекунд.

1. J.Tersoff, New empirical approach for the structure and energy of covalent system // Phys.Rev. B (1988) V. 37, No 12, P.6991–6999

Al_2O_3, ОКСИД ТИТАНА И ИХ ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЯЕМЫЕ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ ДИФРАКТОМЕТРИИ

Ш.Т.Хожиев[1], И.О.Косимов[1], М.А.Зияев[1], Б.Б.Гаибназаров[2]

Институт Биоорганической Химии им.акад. О.С. Содыкова АН РУз, Ташкент, Узбекистан

ТашГТУ, г.Ташкент, Узбекистан

Наноразмерный диоксид титана, являясь широкозонным полупроводником, широко применяется в электронике, и в электрооптике за счет прозрачности в видимой области спектра, а также высокого коэффициента преломления [1-3]. В последние годы объектами пристального внимания исследователей являются сенсорные, адсорбционные, оптические, электрические и каталитические свойства TiO_2 [1–5]. Основным недостатком TiO_2 для оптики и фотокатализа является его активность под действием только ближнего ультрафиолетового (УФ) излучения, которое составляет лишь 5−8% от всего солнечного спектра, достигающего поверхности Земли.

Порошко́вая рентге́новская дифра́кция — метод исследования структурных характеристик материала при помощи дифракции рентгеновских лучей (рентгеноструктурный анализ) на порошке или поликристаллическом образце исследуемого материала. Также называется методом порошка. Результатом исследования является зависимость интенсивности рассеянного излучения от угла рассеяния. Преимуществом метода является то, что дебаеграмма для каждого вещества уникальна и позволяет определить вещество даже тогда, когда его структура не известна. Монохроматический пучок рентгеновского излучения направляется на образец исследуемого материала, растертого в порошок. На фотоплёнке, свернутой цилиндром вокруг образца, изображение (дебаеграмма) получается в виде колец. Расстояние между линиями одного и того же кольца на дебаеграмме позволяет найти брэгговские углы отражения. Затем, по формуле Брэгга – Вульфа $2d\ sin\Theta = n\lambda$ можно получить отношение d/n расстояния между отражающими плоскостями к порядку отражения. В настоящей работе порошковый рентгенофазовый метод анализа использовали для изучения структуры, состава, свойств сырьевых материалов и продуктов оксида титана TiO_2. Экспериментально обнаружены различные пики в спектре рентгенофазового анализа (XRD) образцов оксида титана TiO_2. На основе данных (XRD) полученных для образцов с различными режимами получения порошка определены индексы Миллера и параметры решетки. Полученные экспериментальные данные хорошо согласуется с данными полученными другими методами. На рис.1 и **2** представлены спектральные зависимости Al_2O_3 и TiO_2 полученная методом порошкового дифрактометра. Кроме того, приведены индексы Миллера, а также межплоскостное расстояние d_{hkl} для данных образцов.

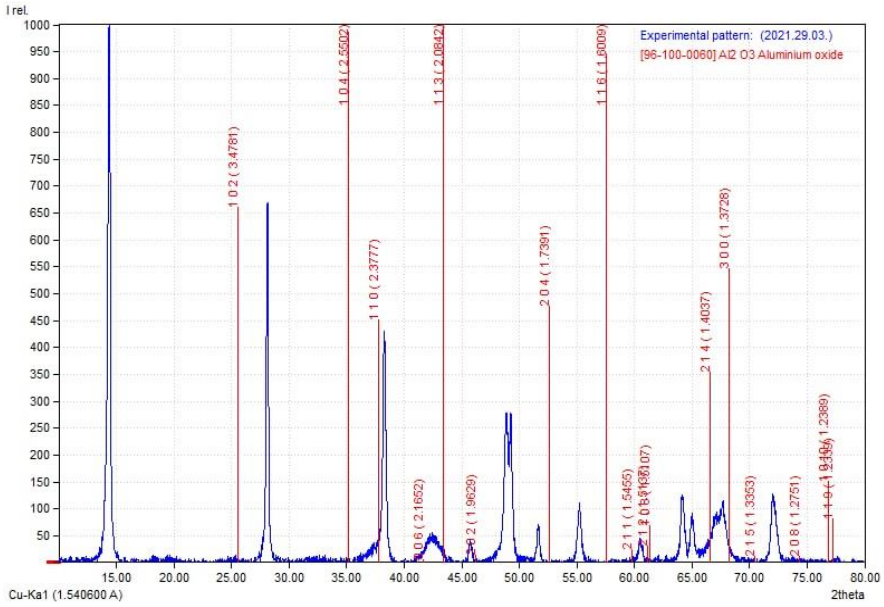


Рис.1. Спектральная зависимость Al_2O_3 полученная методом порошкового дифрактометра. Приведены индексы Миллера.

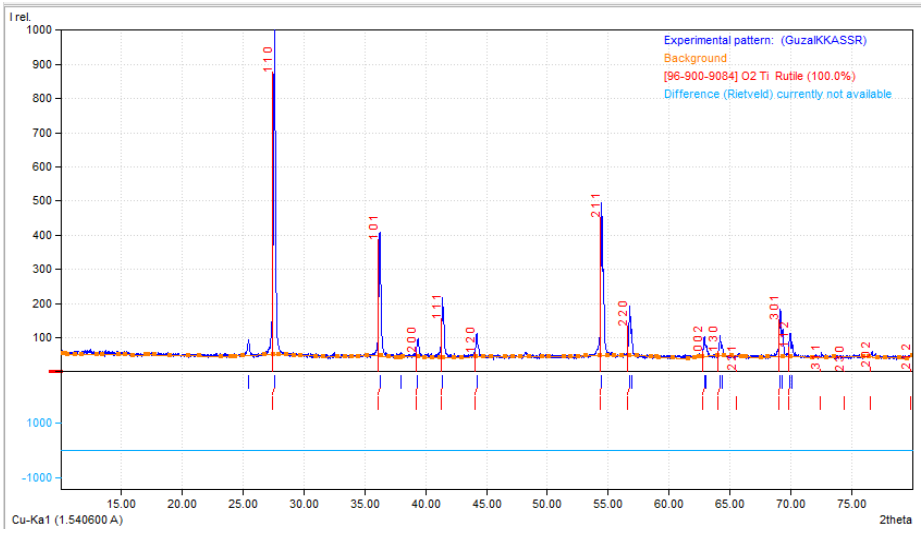


Рис.2. Спектральная зависимость TiO_2 полученная методом порошкового дифрактометра. Приведены индексы Миллера.

1. Г.С.Жданов, А.С.Илюшин, С.В.Никитина //Дифракционный и резонансный структурный анализ. // Москва «Наука». 1980.
2. Gnaser H., Huber B., Ziegler Ch. // Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology. 2004. V. 6. P. 505–535.
3. Шульга Ю.М., Матюшенко Д.В., Голышев А.А., Шахрай Д.В., Молодец А.М., Кабачков Е.Н., Куркин Е.Н., Домашнев И.А. // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. Вып. 18. С. 26–31.
4. А.А. Скоморохов, Л. В. Михнев, Е. А. Бондаренко, О. М. Чапура, С. М. Карачевцев, Е. Н. Фролов, И. В. Макаров // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2016. № 1(52). С. 14-20.

ФРАГМЕНТАЦИЯ И ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ РАСПЫЛЕННЫХ КЛАСТЕРОВ $V_nO_m^+$

Ш.Т.Хожиев[1,2], Х.Б.Ашуров[1], С.Ф.Коваленко[1], С.Е.Максимов[1], В.М.Ротштейн[1]

[1]*Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан*

[2]*Институт биоорганической химии имени А.С.Садыкова АН РУз, Ташкент, Узбекистан*

Khojiev69@bk.ru;

Среди методов генерации кластеров ионное распыление имеет ряд преимуществ, позволяя подбором распыляемого материала и сорта бомбардирующих ионов получать структуры, которые сложно синтезировать другими способами. Однако, несмотря на достоинства метода, природа процессов кластерообразования при ионной бомбардировке всё ещё остаётся во многом неясной, а существующие модели и механизмы описывают лишь отдельные стороны явления. В [1] представлен механизм комбинаторного синтеза, с использованием которого качественно описаны процессы образования кластеров $Si_nO^-_{2n+1}$ [1]. Впоследствии данный механизм также был успешно использован ля качественного описания процессов образования ряда других кластерных ионов, что свидетельствует о перспективности подхода. Целью представленной работы было изучение методом ВИМС процессов фрагментации кластеров $V_nO_m^+$ для оценки возможности описания механизма их образования под действием ионной бомбардировки в рамках комбинаторного подхода [1].

Исследования распыленных кластеров $V_nO_m^+$ выполнялись на вторично-ионном масс-спектрометре с двойной фокусировкой обратной геометрии [2] с использованием описанной в данной работе методикой изучения каналов распада распыленных частиц. Кластеры $V_nO_m^+$ генерировались в условиях, аналогичных [3], при бомбардировке мишеней V ионами Xe^+ с энергией 8,5 кэВ под углом 45^0 при сканировании поверхности в растр 1,5x1,5 мм и напуске O_2 в камеру до давления $4\text{-}5*10^{-3}$ Па. Ионные токи составляли 0,4-0,5 мкА при плотности тока $\sim 10^{-4}$ А*см$^{-2}$.

Исследования процессов фрагментации по всем стехиометрически возможным направлениям, частично представленные ранее в [3], были проведены для кластеров $V_nO_m^+$(n=1-4, m=1-6) (Табл.1). В целом, полученные результаты показывают, что данные кластеры составлены из структурных единиц VO_2, VO_3 и V_2O_5. В частности, для кластера $V_2O_4^+$ наблюдаются каналы распада с выбросом нейтралей VO_2 и VO_3, причем вероятность первого распада выше. Аналогично, для кластера $V_2O_5^+$ обнаружены убывающие по вероятности каналы с выбросом нейтральных O, VO_3 и O_2, соответственно. В рамках предположения [2] о взаимной обратимости реакций образования кластеров и их мономолекулярного распада совокупность каналов фрагментации кластеров $\mathbf{V_nO_m^+}$, таким образом, указывает на их формирование в параллельно идущих цепочках реакций комбинаторного синтеза в соответствии с [1].

Таблица 1.

Каналы фрагментации селектированных кластеров $V_nO_m^+$, распыленных с поверхности V ионами Xe^+ при напуске O_2.

Ион	Канал распада	Ион	Канал распада
VO^+	$VO^+ \rightarrow V^+ + O$	$V_3O_2^+$	$V_3O_2^+ \rightarrow V_2O_2^+ + V$
VO_2^+	$VO_2^+ \rightarrow VO^+ + O$		$V_3O_2^+ \rightarrow V^+ + V_2O_2$
	$VO_2^+ \rightarrow V^+ + O_2$	$V_3O_3^+$	$V_3O_3^+ \rightarrow V_2O_2^+ + VO$
VO_3^+	$VO_3^+ \rightarrow VO^+ + O_2$		$V_3O_3^+ \rightarrow V_2^+ + VO_3$
	$VO_3^+ \rightarrow V^+ + O_3$		$V_3O_3^+ \rightarrow VO^+ + V_2O_2$
V_2O^+	$V_2O^+ \rightarrow VO^+ + V$		$V_3O_3^+ \rightarrow V^+ + V_2O_3$
	$V_2O^+ \rightarrow V^+ + VO$	$V_3O_4^+$	$V_3O_4^+ \rightarrow V_2O_3^+ + VO$
	$V_2O^+ \rightarrow V_2^+ + O$		$V_3O_4^+ \rightarrow V_2O_2^+ + VO_2$
$V_2O_2^+$	$V_2O_2^+ \rightarrow V_2O^+ + O$		$V_3O_4^+ \rightarrow VO^+ + V_2O_3$
	$V_2O_2^+ \rightarrow V_2^+ + O_2$		$V_3O_4^+ \rightarrow V^+ + V_2O_4$
	$V_2O_2^+ \rightarrow VO^+ + VO$	$V_3O_5^+$	$V_3O_5^+ \rightarrow V_2O_3^+ + VO_2$
	$V_2O_2^+ \rightarrow V^+ + VO_2$		$V_3O_5^+ \rightarrow V_2O_2^+ + VO_3$
$V_2O_3^+$	$V_2O_3^+ \rightarrow V_2O_2^+ + O$		$V_3O_5^+ \rightarrow VO^+ + V_2O_2$
	$V_2O_3^+ \rightarrow VO_2^+ + VO$		$V_3O_5^+ \rightarrow V^+ + V_2O_5$
	$V_2O_3^+ \rightarrow VO^+ + VO_2$	$V_3O_6^+$	$V_3O_6^+ \rightarrow V_3O_4^+ + O_2$
$V_2O_4^+$	$V_2O_4^+ \rightarrow V_2O_3^+ + O$		$V_3O_6^+ \rightarrow V_2O_4^+ + VO_2$
	$V_2O_4^+ \rightarrow VO_2^+ + VO_2$		$V_3O_6^+ \rightarrow VO_2^+ + V_2O_4$
	$V_2O_4^+ \rightarrow VO^+ + VO_3$		$V_3O_6^+ \rightarrow VO^+ + V_2O_5$
$V_2O_5^+$	$V_2O_4^+ \rightarrow V^+ + VO_4$		$V_3O_6^+ \rightarrow V^+ + V_2O_6$
	$V_2O_5^+ \rightarrow V_2O_4^+ + O$		
	$V_2O_5^+ \rightarrow VO_2^+ + VO_3$		

Как для гомоядерных, так и для гетероядерных кластеров независимо от зарядового состояния процесс их образования при ионном распылении поверхностей может быть описан в рамках синергетических представлений [4]. Комбинаторный подход [1] при этом может быть эффективным методом анализа квазихимических реакций, в которых формируются те или иные кластеры конкретного размера и стехиометрического состава.

1. N.Kh.Dzemilev. //J. Surf. Invest. 2012. V.6. №4. P.654–659..
2. A.D.Bekkerman, N.Kh.Dzemilev, V.M.Rotstein. //Surf. Interf. Anal. 1990. V.15. P.587-590.
3. С.Е.Максимов, С.Ф.Коваленко, О.Ф.Тукфатуллин, Ш.Т.Хожиев. //Труды XIX Международной конференции ВИП-2009. Т.1. С. 414-417.
4. S.E.Maksimov, B.L.Oksengendler, N.Yu.Turaev. //J. Surf. Invest. 2013. V.7. №2. P.333–338.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК С АТОМАМИ ВОДОРОДА

У.Б.Улжаев, Д.В.Алябьев, И.Д.Ядгаров
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, Узбекистан, Ташкент

Методами молекулярной динамики проведено численное моделирование взаимодействия атомов водорода с углеродной нанотрубкой.

Объектом моделирования была выбрана однослойная углеродная нанотрубка хиральностью (5.5), диаметром 0,693 нм (рис. 1). Численное значение диаметра нанотрубки в целом совпадает с экспериментальными результатами, в которых внутренний диаметр нанотрубки лежит в диапазоне 0,63 нм <d <0,79 нм.

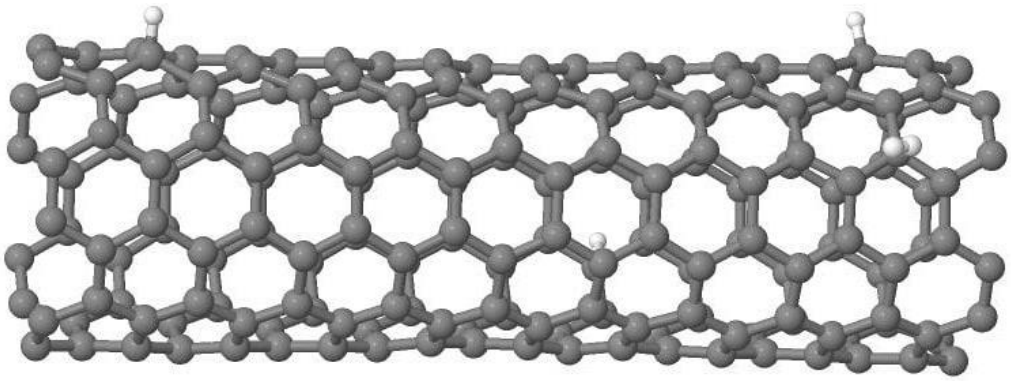


Рис.1. Адсорбция атомов водорода углеродной нанотрубкой

Во время процесса гидрирования, адсорбированный атом водорода также может десорбироваться по механизмам Ленгмюра-Хиншелвуда или Эли-Ридила, вследствие чего поверхность нанотрубки покрывается водородом не полностью. В частности, степень покрытия поверхности достигает 22% при 300 К.

1. Iijima, S. and Ichihashi, T. (1993) Single-Shell Carbon Nanotubes of 1-nm Diameter. Nature, 363, 603-605. **http://dx.doi.org/10.1038/363603a0**

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ВЫХОДА ВОЗБУЖДЕННЫХ МОЛЕКУЛ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ ЭЛЕКТРОНАМИ КЭВ-НЫХ ЭНЕРГИЙ В ЭСД

Ш.Дж.Ахунов, Д.Т.Усманов, Ш.М.Ахмедов
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан
a.shovkatjon@mail.ru, usmanov@iplt.uz

Для большинства вторичных эмиссий зависимости выходов $Y(\alpha)$ соответствующих продуктов от угла падения α бомбардирующих частиц описываются законом косинуса: $(Y \propto (\cos\alpha)^{-1}$, поскольку вероятность выхода вторичных частиц зависит от глубины их образования в мишени, и возрастает с увеличением угла α . Однако в литературе отсутствуют данные о зависимостях $Y(\alpha)$ для электронно-стимулированной десорбции (ЭСД), когда эмиссия молекул происходит непосредственно с поверхности мишени. В этом случае $Y(\alpha)$ зависимости должны содержать информацию об особенностях взаимодействия первичных и вторичных электронов с адсорбированными молекулами и их исследование представляет интерес для понимания механизма ЭСД. В меньшей степени изучена ЭСД возбужденных атомов, и особенно, молекул [1-5]. К настоящему времени установлены закономерности ЭСД возбужденных молекул, один из них:- в случае бомбардировки щелочно-галоидных кристаллов наблюдается ЭСД молекул OH ($A^2\Sigma^+ \rightarrow {}^2\Pi_i$; 306 нм) при напуске водорода в камеру столкновений.

В настоящей работе сообщается исследование выходов α возбужденных молекул CN, CO и OH, десорбированных с поверхности цезированного вольфрама W в зависимости от угла падения электронов с энергией 200-900эВ.

Была использована сверхвысоковакуумная установка с безмаслянной системой откачки описанная в [9] и модернизированная для исследования угловых зависимостей возбужденных молекул CN,CO и OH.

С помощью дозирующего вентиля напускались исследуемые газы (воздух - для образования OH, чистый CO (99,1%) - для образования CO и табачный дым – для CN. Обнаружено, что молекулы газов CN, CO и OH при адсорбции на поверхности цезированного вольфрама испускают излучение соответствующей длины волны при бомбардировке электронами. Интенсивность свечения зависит от потенциала, прикладываемого к мишени ±10эВ, причем наибольший сигнал при +10эВ и наименьший при –10эВ. Эти изменения зависят от типа десорбируемых молекул и составляют:

- 20% для молекул CN и 7,5% для OH и CO при энергии 900эВ
- 25% для CN, 8% для OH и CO при энергии 600эВ;
- 38% для CN, 13% для CO при энергии 400эВ

Основной причиной этих изменений является влияние вторичных электронов эмитируемых из мишени. При потенциале +10эВ низкоэнергетическая часть вторичных электронов с $E_p \leq 10$эВ, покинув мишень, замедляются до полной остановки, а затем возвращаются обратно на мишень,

что подтверждается измерениями величины электронного тока в цепи мишени. Изменения интенсивности свечения при этом связаны с дополнительной возможностью образования возбужденных молекул в процессе рекомбинации вторичных электронов и положительных ионов (вне мишени) вблизи точки поворота (когда электроны наиболее медленные)

Этот эффект является дополнительным к исследуемому явлению и его эффективность зависит от типа молекулярного иона, участвующего в процессе рекомбинации. В связи с действием указанного дополнительного эффекта рекомбинации эмитированных электронов с десорбированными молекулярными ионами представляет самостоятельный интерес изучение возможности взаимодействия вторичных электронов с адсорбированными на поверхности мишени молекулами, в процессе перехода электронов из объема металла в вакуум. Проверить такую возможность можно путем исследования зависимостей интенсивности свечения десорбированных молекул от угла падения α бомбардирующих электронов на поверхность мишени.

Интенсивность излучения в случае цезированной поверхности W на несколько порядков величины больше, чем для чистой, за счет резкого уменьшения вероятности безызлучательного возбуждения,

- обнаружено наличие свечения для молекул CN, CO и OH,
- угловая зависимость хорошо проявляется с уменьшением энергии электронов,
- выход электронов растет с уменьшением энергии,
- зависимости выходов возбужденных молекул от угла падения α соответствуют по закону обратного косинуса,
- приложение потенциалов к мишени сопровождаются как изменением тока электронов, но самое главное изменением свечения: большим для CN, и очень малым для OH и CO.

1. Поп С.С., Белых С.Ф. Дробнич В.Г. Ферлегер В.Х. Ионно-фотонная эмиссия металлов. Ташкент: Фан, 1989. 200 с.
2. V.N. Ageev. Prog. Surf. Sci. 47, 55 (1994).
3. T.E. Madey. Surf. Sci. 299/300, 824 (1994).
4. Агеев В. Н., Бурмистрова О. П., Кузнецов Ю.А.// УФН. 1989. Т.158. N3. С.389 .
5. Ramsier R.D., Yates J.T. // Surface Sci. Rep. 1991. V.12. 6-8 P.243.
6. Tolk N.H., Feldman L.C., Kraus J.S., Morris R.J., Pian T.R., Traum M.M., Tully J.C. // Springer Ser. Chem. Phys. 1981. V.17. P.112.
7. Haglund R.F., Aldbhrige R.C., Cherry D.W., Cole R.K., Mendenhall M.H., Reatman W.C.B., Tolk N.H., Neils D. et al. // Nucl. Instr and Meth. Ser.B 1986. V.13. P.525.
8. Tolk N.H., Traum M.M., Kraus J.S., Pian T.R., Collins W.E., Stoffel N.G., Margaritano G. // Phys. Rev. Lett. 1982. V.49. P.812.
9. Ш.Д. Ахунов, С.Ф. Белых, У.Х. Расулев, И.В. Редина, В.Х. Ферлегер., Изв. РАН сер.физ. (1998) Т. 62, № 4, 813-820

BOMBARDMENT OF IONS OF WITH DIFFERENT MASS OF LITHIUM FLUORIDE CRYSTALS

U.B. Sharopov

Physical-Technical Institute, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan

Today, high-tech materials, in contrast to bulk materials, have special surface properties with special performance characteristics. Investigation of the processes of modification of the surface properties of materials by bombardment with electrons and ions is the most important area of materials science.

We consider the experimental and theoretical results of studies of the formation of defects on the surface of LiF crystals under irradiation with ions using various techniques. The measurements were carried out in LiF films grown on a Si(111) single crystal under irradiation with ions of different masses after the film was deposited. The dose dependences of the formation of implanted defects on the surface of LiF films were investigated by total current (TC) spectroscopy [1] and the Stopping and Range of Ions in Matter (SRIM) [2] software package.

We investigated the processes of defect formation, coalescence and charging in thin layers of LiF/Si(111) during bombardment with ions in the range $200 < E \leq 3000$ eV. The defect formation thresholds were identified by the appearance of peaks in the TC spectra caused by the F and F_n aggregate centres. Proceeding from the set task, we carried out studies on the dose dependences in LiF films irradiated with ions with an energy of 1000 eV for the following cases:

- irradiation with positive caesium ions of the LiF film;
- irradiation of LiF films with negative chlorine ions.

It is shown that with an increase in the mass of the primary ion, a large number of vacancies and interstitial defects are formed on the surface than in the bulk of the crystal. For ions with the smallest ion mass, the distribution of interstitial defects is greater on the surface than in the bulk of the crystal. An attempt is made to explain the formation of some defects on the surface (formed peaks in the total current spectra) by the method of computer simulation.

1. U.B. Sharopov, K. Kaur, M.K. Kurbanov, D.S. Saidov, E.T. Juraev, M.M. Sharipov, Controlling the Low-temperature Ionic Purification of a Silicon Surface by Electron Spectroscopy, Silicon. (2021). https://doi.org/10.1007/s12633-021-01268-0.
2. J.F. Ziegler, M.D. Ziegler, J.P. Biersack, SRIM – The stopping and range of ions in matter (2010), Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms. 268 (2010) 1818–1823. https://doi.org/10.1016/j.nimb.2010.02.091.

УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ МНОГОЛУЧЕВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

К.А.Турсунметов, Ф.Ю.Тургунбоев
Национальной университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан
kamiljan47@yandekx.ru

Получения многолучевых электронных систем в основном получают использованием антиэмиссионных пленок на поверхности термокатода в научных исследованиях и в исследованиях производителей в основном изучены антиэмиссионные свойства толстых плёнок Hf, Zr, Ti, Mo, B, Re. Однако, Американские учение A.N.Curren, B.T.Ebihara, S.Peet создали многолучевые электронные приборы на основе термокатодов многолучевых электронных потоков, создаваемое установлением сетки на поверхности катода. Российские учёные Б.Ч.Дюбуа, Ю.В.Гурков, А.Камерцель, Н.Н.Чубун, И.Б.Бутенко изучали антиэмиссионные свойства Hf, Zr, Ti плёнок толщиной 10–20 мкм на поверхности термоэмиссионных катодов и предложили использовать Hf как антиэмиссионный материал. К.А.Турсунметов и Ю.В.Гурков испытали на практике плёнки гафния толщиной 10–20 мкм как антиэмиссионное покрытие, но антиэмиссионные свойства, термостабильность и физический принцип работы более тонких плёнок до сих пор не изучены.

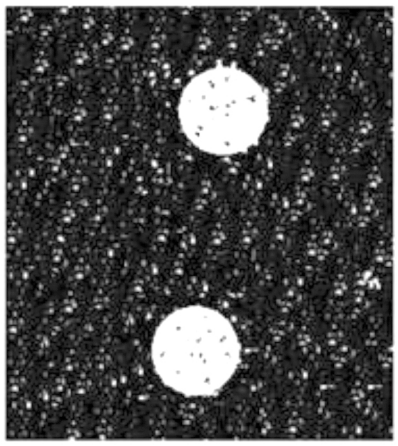
Нами изучены термостабильности тонких (нано) плёнок Zr и Hf на поверхности поли-, монокристаллических (110) W термоэмиссионными и Оже-спектрометрическими методами; определены условий их термостабильности и их возможностей как антиэмиссионные материалы для термокатодов.

Образование высокоэмиссионные свойства поверхности металлопористых катода зависит от морфологи и структуры их поверхности. Поэтому были исследованы эмиссионные свойства W-губки при высоких температурах, а также изменения структуры поверхности. Поры вольфрамовой-губки дают возможность впитывания относительно большого количества активных элементов (компонентов бария) и соответственно его эффективная поверхность значительно больше, чем у поликристалла вольфрама. Это даёт возможность создать на поверхности W-губки высокоэффективную эмиссионную поверхность. Устарение металлопористого катода связывают с уменьшением на эмиссионной поверхности катода активных веществ – Ba-компонентов. Не было уделено должного внимания на шероховатость-неровность поверхности катода, его разветвлённость, а также на изменения свойств W-губки. Поэтому, в данной работе были исследованы изменения эмиссионной поверхности W-губки и изменения при длительной термической обработки в вакууме. После высокотемпературного нагрева работа выхода W-губки определённая методом полного тока составляла 3.99±0.05 эВ, а методом контактных разность потенциалов составила 4.50±0.04 эВ. Если истинная работа выхода поликристаллического вольфрама составляет, как мы

определили, 4.52 эВ, то в этом случае за счёт размазывания эффективной эмитирующей поверхностей, работа выхода пористого вольфрама меньше в 1,14-1,15 раза чем для поликристаллического вольфрам. Это даёт возможность получить относительно большого эмиссионного тока с W-губки. После многочисленных окислений и термообработок поры W-губки спекаются, и её эмиссионные свойства в потоке бария становятся аналогичными свойствам поликристаллического вольфрама.

Изменения морфологии поверхности вольфрамовой губки были исследованы электронным микроскопом ($K=250^x$). Первоначальное состояние вольфрамовой губки, где видно, что поверхность губки по избражению на электронном миерископн неровная. Поэтому поверхность подвергнута механической и химической обработке. Опыты показали, что после механической обработки, т.е. после полировки, морфология поверхности резко нарушается. Поэтому поверхность губки обработана путём электротравления слабым раствором NaOH. В результате поверхность стала значительно гладкой. Перед нанесениям антиэмиссионного покрытия,

Поверхность катода очищена бомбардировкой ионами аргона (энергия 10кэВ), затем на поверхности катода методом испарения получена циркониевая плёнка толщиной 1,5 мкм. Затем в магнитном поле с помощью сфокусированного пучка Ar^+ на поверхности катода диаметром 3,2 мм были созданы более 20 «окошек». После этого катод был расположен в эмиссионный микроскоп, где было проведено обезгаживание, термическая активировка, проведено наблюдение его эмиссионного изображения. Эффективная работа выхода, определённая на основе измерения эмиссионного тока исходящего из «окошек», где циркониевые плёнки были сняты, составила 2,1–2,2эВ. Соотношение плотности тока исходящего из этих «окошек» превысило плотность эмиссионного тока с поверхности покрытого циркониевой плёнкой в несколько тысяч раз. Геометрия данных эмиссионных окон обладала чётким контуром и чёткость его контура значительно превосходит контуры окошек с толщиной 10–20мкм сделанных на гафниевых плёнках. На изображении видно, что на поверхности циркониевой плёнки толщиной ≈1,5 мкм есть маленькие точки – эмиссионные центры и это связано с неравномерностью поверхности катода. Поэтому целесообразно выбрать толщину антиэмиссионной циркониевой плёнки 2-3 мм и более. Таким образом, можно создавать, источника многолучевых электронов, на основе металлопористых катодов покрытых антиэмиссионными плёнками циркония толщиной 2-3мкм для усилителей высокочастотных электронно-параметрических усилителей (ЛБВ, ЛОВ, Клистрон).



ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ СПИНОСАДА

Ш.М.Ахмедов, Ш.Дж.Ахунов, Д.Т.Усманов
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, АН РУз, Ташкент, Узбекистан,
usmanov@iplt.uz

Одним из значимых источников загрязнения окружающей среды, в том числе пищевых продуктов, являются пестициды, используемые для борьбы с различными вредными организмами и растениями в сельском хозяйстве. Пестициды обладают способностью мигрировать в природных условиях, накапливаться в пищевых продуктах, длительное время сохраняться в различных объектах окружающей среды (вода, почва, атмосферный воздух). Наибольшую угрозу отравления для людей и домашних животных представляет миграция пестицидов по пищевым цепочкам.

Изучение накопления пестицидов в пищевых цепочках, а также контроль за качеством продуктов базируется на аналитических данных о содержании остатков пестицидов и их метаболитов. К настоящему времени, для решения этой задачи используется методы и приборы, основанные на различных способах ионизации, сепарации веществ и ионов. Среди них, методы, основанные на явления поверхностной ионизации (ПИ), отличается со своей высокой чувствительностью и селективностью к органическим соединениям азотистого основания. Кроме этого, на их основе можно построит относительно простых, недорогих и портативных приборов для экспрессного химического анализа веществ работоспособного в условии атмосферы воздуха, которые соответствует требованиям внелабораторных практических задач аналитической химий. Важным этапом для разработки эффективных ПИ способов определения следов количеств веществ, удовлетворяющие данным требованиям, является выявления закономерностей ПИ молекул этих веществ.

В связи с этим, в данной работе исследовано закономерность ПИ молекул спиносада, входящего в один из самого крупного класса пестицидов, называемого инсектициды - химические препараты, предназначенные для уничтожения вредных насекомых. Исследование производились на модернизированным ПИ масс-спектрометре МИ-1201. Получены ПвИ масс-спектры и температурные зависимости тока ионов. Выявлена схемы адсорбции молекул на поверхности термоэмиттера и механизм мономолекулярных распадов термически возбужденных ионов, происходящих после отлета с горячей поверхности эмиттера. Также, была оценена теплота сублимации $E_{суб}$ спинасада.

УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАССЕЯННЫХ ИОНОВ Ne^+ и Ar^+ ПРИ МАЛОУГЛОВОМ БОМБАРДИРОВКЕ ПОВЕРХНОСТЬИ InGaP(001)<110>

У.О.Кутлиев, М.К.Каримов, С.Б.Бобожонова,
К.У.Отабаева, М.У.Отабаев
Ургенческий государственный университет, Ургенч, Узбекистан.
karimov_m_k@mail.ru

Наряду с многочисленными методами также успешно используется метод низкоэнергетическое рассеяния ионов. В то время как ионы высоких энергий (~МэВ) могут проникать в твердое тело на глубину порядка нескольких микрометров, ионы низких энергий (~кэВ) рассеиваются почти полностью на поверхностном слое и широко используются для исследования «первого монослоя». Налетающие на мишень ионы низких энергий рассеиваются на атомах поверхности посредством бинарных столкновений и регистрируются электростатическим анализатором. Такой анализатор регистрирует только заряженные частицы, а в диапазоне энергий ~1 кэВ частицы, проникающие глубже первого монослоя, выходят наружу почти всегда в виде нейтральных атомов. Поэтому чувствительность эксперимента только к заряженным частицам еще более повышает поверхностную чувствительность метода низкоэнергетического ионного рассеяния -НЭИР (LEIS – Low Energy Ion Scattering). Главными причинами высокой поверхностной чувствительности этого метода являются зарядовая избирательность электростатического анализатора и очень большие значения сечений рассеяния[1].

Целью данной работы является изучение угловое распределения рассеянных ионов с поверхностных слоев трёхкомпонентного гетероструктура (InGaP) с помощью спектроскопии малоуглового ионного рассеяния.

В этой работе использованы метод приближении парных столкновений. Построение траекторий ионов, рассеиваемых атомами на поверхности твердого тела, в нашем алгоритме основывается на двух допущениях: 1) рассматриваются лишь парные столкновения ионов с атомами мишени; 2) путь, проходимый ионом между столкновениями, представляется в виде отрезков прямых линий [2]. Для описания взаимодействия частиц использовался универсальный потенциал Циглера-Бирзака-Литтмарка [3]. Неупругие потери энергии рассчитывались по формуле Фирсова, усовершенствованной Кишиневским и были включены в кинематику рассеяния [4]

Нами также получены угловые распределения ионов Ne^+(рис.1а) и Ar^+ (рис.1б) рассеянных с E_0=1кэВ при бомбардировке поверхности InGaP(001)<110> при угле скольжениях $\psi=3^0$ и 7^0.

Из зависимостей видно, что для ионов Ne^+ и Ar^+ при угле скольжения $\psi=3^0$ часть падающих ионы рассеиваются на большие азимутальные углы, при

этом имея как отрицательные, так и положительные значения ($-35^0<\varphi<25^0$). Следует отметить, что большие значения азимутального угла рассеяния связано с рассеянием ионов от атомных цепочек In и Ga, причём большой азимутальный угол рассеяния наблюдается в случае In ($\varphi=-35^0$).

С увеличением значений угла скольжения ($\psi=7^0$) не наблюдается рассеяния ионов на большие азимутальные угли, так как с увеличением угла падения, увеличивается влияния поверхностного полуканала. Поэтому интенсивные пики, образованные вблизы $\varphi = 7^0$ относится зеркально рассеянным ионам. Отметим, что с увеличением масс бомбардирующих частиц увеливается интенсивность рассеянных ионов по φ.

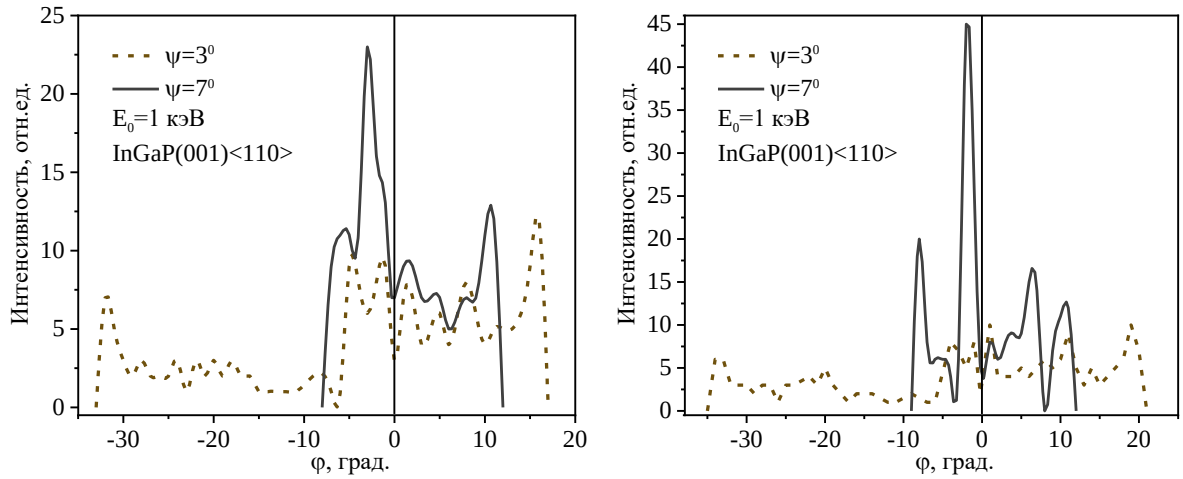


Рис.1. Угловые распределения ионов Ne^+(рис.1а) и Ar^+ (рис.2б) рассеянных с E_0=1кэВ при бомбардировке поверхности InGaP(001)<110> при угле скольжениях $\psi=3^0$ и 7^0.

Наши расчёты показали, что изменения улол падения бомбардирующих частиц приводить к изменению углового распределения. Это означает, что исследование явления рассеяния ионов поверхностью, сводится к изучению характерных траектории рассеянных ионов, представляющего собой отношение тока рассеянных ионов к току падающих на мишень ионов, а также угловых распределений рассеянных ионов.

1. F.F. Umarov, A.A. Dzhurakhalov, and K.M. Mukashev, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 81 (2015) 012022
2. M.K. Karimov, U.O. Kutliev, Sh.K. Ismailov, M.U. Otaboev, Surface e-Journal of Surface Science and Nanotechnology. 18, (2020)164-167.
3. J.F. Ziegler, J.P. Biersack, U. Littmark, The stopping and range of ions in solids, 321 (NY: Pergamon Press: 1985).
4. L. M. Kishinevsky, Izv. Acad. Nauk SSSR Ser. Fiz. **26**, 1410 (1962).

ПОВЕРХНОСТНО-ИОНИЗАЦИОННАЯ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ НАРКОТИЧЕСКИХ СТИМУЛЯТОРОВ

Б.Ш.Касимов, Ш.Дж.Ахунов, Ш.М.Ахмедов, Д.Т.Усманов
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, АН РУз, Ташкент, Узбекистан, usmanov@iplt.uz

Исследования адсорбции молекул активных органических соединений (АОС), их химических превращений на горячей поверхности, десорбции многоатомных частиц, в том числе термодесорбции ионов поверхностной ионизации (ПвИ) органических и биоорганических соединений имеют не только важное фундаментальное значение для выяснения физико-химических процессов, происходящих на поверхности, а также необходимы для развития таких направлений науки и техники, как биотехнология, нанотехнология, гетерогенный катализ и газоаналитическое приборостроение. Наркотическими стимуляторами называют такие наркотики, как кокаин, крэк, метамфетамин и амфетамины [1]. Стимуляторами также являются АОС, непосредственно влияющие на центральную нервную систему, чтобы ускорить работу частей мозга и тела, увеличивая частоту сердечных сокращений, артериальное давление, обмен веществ и температуру тела пользователя. Многие стимуляторы по природе являются труднолетучими и термически нестабильными соединениями. Вследствие этого при масс-спектрометрических исследованиях этих веществ получаемая информация зависит как от применяемого способа ионизации, так и от их физико-химической природы.

В настоящей работе сообщаются результаты поверхностного ионизационного масс-спектрометрического (ПвИ/МС) исследования наркотических стимуляторов амфетамина, метамфетамина и кокаина. Исследованы хроматографически чистые амфетамин, метамфетамин и кокаин при раздельной адсорбции на поверхности горячего эмиттера. Масс-спектры этих веществ относительно малолинейчаты и в основном состоят из квазимолекулярных $[M\text{-}H]^+$ и фрагментных ионов $[M\text{-}R]^+$. Выявленные закономерности исследованных соединений коррелируются ранее установленных закономерности ПвИ азотсодержащих органических соединений [2]. Полученные температурные зависимости ионов как функции термоэмиттера также коррелировали для азотсодержащих органических соединений. Определены теплоты сублимации ионов всех исследованных соединений. Полученные наклоны графиков, одинаковые для разных ионов при разных $T_{исп}$, показывают, что все ионы, наблюдаемые в масс-спектрах стимуляторов, получаются из поступивших на поверхность исходных молекул.

1. https://www1.nyc.gov/assets/doh/downloads/pdf/basas/stimulants-harm - reduction-booklet-ru.pdf
2. U.Kh. Rasulev, E.Ya. Zandberg, Surface ionization of organic compounds and it's application, Prog. Surf. Sci. 1988, 28, pp.181–412.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОТОЭЛЕКТРОННЫХ СПЕКТРОВ НИОБИЯ-МОЛИБДЕНА-ГАФНИЯ

Н.А.Нурматов, Г.Т.Рахмонов, Р.А.Алимов
Национальный университет Узбекистана имени М. Улугбека,
Ташкент, Узбекистан, n n__nurmatov@mail.ru

Экспериментально в условиях сверхвысокого вакуума изучены монокристалл Nb и его сплавы, полученные низкоэнергетической имплантацией ионов Mo и Hf. Исследованы энергетические спектры фотоэлектронов до и после нагрева сплава. Анализируется вклад поверхностных зон, образованных атомами молибдена и гафния в фотоэлектронную эмиссию при энергии фотонов 8 и 10 эВ. Сплавы на основе тугоплавких металлов молибдена, ниобия, гафния и циркония широко используется в ядерной энергетике, машиностроении, авиационной технологии, СВЧ-приборах и т.д.,то есть не уступает со своими технологическими параметрами относительно других легкоплавких материалов [1-2].Конструкция сверхвысоковакуумной многофункциональной экспериментальной установки с твердотельным ионным источником описана в работе [3]. Кристаллы молибдена и гафния поочередно, помещенные в танталовую чашечку, прогревались до температуры 2000-2400 К с целью очистки поверхности образца из примесных элементов. Рабочий вакуум в камере прибора составлял $(3\text{-}5)\times10^{-10}$ Торр. Поток ионов молибдена и гафния в этом режиме равен 10^{11} ион*см$^{-2}$*с$^{-1}$, а энергия ионов Е=3кэВ- 4экВ. В манипулятор экспериментальной камеры были вмонтированы монокристаллы Nb(110), Mo(111) и гафния, чтобы провести сравнительные эксперименты с сплавом ниобия-молибдена-гафния. Все образцы прогревались до Т=2200-2400К более 50-60 часов. Кристаллы молибдена и гафния использовались как в качестве эталонных образцов для облегчения обсуждения полученных результатов. Чистота поверхности кристаллов контролировалось по оже-спектрам. Оже-спектры образцов измерялись в энергетическом диапазоне от 80 до 600эВ после высокотемпературного нагрева, а также в нагретых кристаллах. Снимались спектральные зависимости квантовый выход фото эмиссии (КВФ) и определялось значение работы выхода методами прямых и изотермических кривых Фаулера. После термоочистки исследуемых образцов были сняты оже-спектры поверхности исследуемых объектов. В оже-спектрах, снятых при комнатной температуре без прогрева образца, после имплантации ионов молибдена и гафния, в основном, наблюдается пик атомов углерода и слабые пики имплантированных атомов. Максимальная поверхностная концентрация имплантированных атомов молибдена и гафния наблюдается при прогревах образца до 1400-1450 К. Чтобы найти распределение атомов Mo и Hf по глубине в Nb(110), проводилось послойное травление поверхности кристалла

ионами аргона. Кривые энергетического распределения фотоэлектронов снимались с поверхности Nb(110) до и после имплантации атомов Mo и Hf дозой (2-4) $\times 10^{14}$ ион*см^2 и энергией E_p=3.5кэВ. При этом поверхностная концентрация молибдена и гафния, вычисленная методом фактора элементной чувствительности, составляла 2-3ат.%. В спектрах фотоэлектронов, снятых с поверхности Nb(110) при энергии фотонов 8.4эВ, имеются три максимума при значениях энергии 0.5, 1.3, 2.2эВ, а при 10эВ появляется ещё два максимума-3.7 и 4.4 эВ ниже уровня Ферми. В отличие от чистого ниобия кривая N(E) имела широкий максимум в области низкой энергии, после нагрева при T=1450 К наблюдалось уменьшение интенсивности этого максимума. В работе [4] показано, что при имплантации низкоэнергетических ионов тугоплавких металлов легирующие атомы, в основном, распределяются в приповерхностной области металла-матрицы глубиной до десяти атомных слоев. До имплантации образца наблюдается значительный рост КВФ в зависимости от энергии падающих фотонов, а после имплантации устанавливается слабая зависимость КВФ. Это связано, во-первых, с нарушением упорядоченности структуры поверхностного слоя атомов после имплантации Mo и Hf. Во-вторых, внедряемые ионы образует с матрицей твёрдый раствор замещения, что приводит к изменению структуры решётки. Фотоэлектроны, участвующие в эмиссии из поверхностного слоя, за счёт образования дефектов и радиационных повреждений при ионном внедрении теряют часть своей энергии. Необходимо отметить также, что на эти процессы влияет нагрев кристалла и наличие остаточных газов в установке. На N(E), снятых при hv=8.4 эВ, после нагрева при T=1400К, четко появляются особенности электронных состояний поверхностного слоя сплава.

1. Каблов Е.Н. Авиационные материалы и технологии. 2012. С.7-12.
2. Светлов И.Л. Материаловедение. 2010. №9. С.29-38.
3. Н.А.Нурматов, Ё.С.Эргашов, Г.Т.Рахмонов, И.Х.Хамиджанов. Формирование фотоэлектронных спектров сплава ниобия-молибдена-циркония. Взаимодействие ионов с поверхностью. ВИП-2019. Труды XXIV- Международной конференции. 19-23 августа 2019г., Москва, Россия. Том2.С.79-84.
4. И.Бурибаев, Н.А.Нурматов, Ё.С.Эргашов, Н.Талипов, А.Холов, “Исследование фотоэлектронных спектров ионно-имплантированного монокристалла Mo(111)”// Ж. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. - 2012. - №9 -С. 55-58.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕТЕРОГЕННОЙ РЕАКЦИИ ДИССОЦИАЦИИ МОЛЕКУЛ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ МЕТОДАМИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ

Г.Т.Рахманов, Н.А. Нурматов
Национальный университет Узбекистана имени М. Улугбека, Ташкент, Узбекистан, rakhmanov g.t@ mail.ru

Нестационарные методы поверхностной ионизации (ПвИ) – метод модуляции напряжения и метод модуляции потока при исследовании поверхностной ионизации атомов и многоатомных молекул позволяют получить сведения о кинетике процессов термодесорбции и гетерогенных реакций диссоциации протекающих на поверхности твёрдых тел: времени жизни адсорбированных атомов и радикалов по отношению к их термодесорбции в виде нейтральных атомов или ионов, соответствующие энергии активации термодесорбции и энтропийных множителей в кинетической уравнении непрерывности поверхностной концентрации, а также характеристические времена и соответствующие энергии активации гетерогенной реакции диссоциации молекул на поверхности [1,2,3]. Кинетических характеристик гетерогенных реакций диссоциации при этом можно получить используя эти методы в единых условиях эксперимента, так как метод модуляции напряжения которая применяется при эффективной ионизации адсорбатов как в случае атомов так и в случае многоатомных частиц позволяет определить кинетические характеристики по отношению термодесорбции.

В настоящей работы приведены результаты теоретического рассмотрение применения нестационарных процессов при исследовании процессов адсорбции, термодесорбции и гетерогенных реакций диссоциации молекул на поверхности и экспериментальные исследования диссоциативной ПвИ многоатомных частиц (молекул кокаина, кодеина и тебаина) в одинаковых условиях эксперимента нестационарными методами поверхностной ионизации и определение кинетических характеристик гетерогенной реакции диссоциации и термодесорбции продуктов этой реакции для ряда многоатомных молекул наркотических веществ.

1. Назаров Э.Г., Расулев У.Х. Нестационарные процессы поверхностной ионизации. Ташкент, Фан, 1991.с.204
2. Rakhmanov G.T., Rasulev U.Kh., Saidumarov I.M. Surfact and Interface Analisis,Vol.38,2006, P.219-223.
3. Рахманов Г.Т. Определение кинетических характеристик термодесорбции молекул имипрамина и амитриптилина с поверхности окисленного волфрама. Uzbek Journal of Physics,Vol 20,2018,P.58-65.

ВЛИЯНИЕ БОМБАРДИРОВКИ ИОНАМИ Ar^+ НА СПЕКТР ВАЛЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ МОНОКРИСТАЛЛА Si(111)

Ё.С.Эргашов, С.Б.Донаев, Б.Е.Умирзаков
Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан yergashev@mail.ru

Напыление атомов, имплантация ионов, лазерное облучение и другие воздействия в разные кристаллы приводит к резкому изменению электронную и кристаллическую структуру их поверхностной области и эти изменения, в основном обусловливаются формированием наноразмерных структур, изменением стехиометрического состава и фазовой структуры приповерхностного слоя [1-5]. При этом особый интерес представляет изучение процессов образования нанокристаллов и зависимости их физические свойств от размеров и наличия в них структурных дефектов. Любое изменение физико-химического состояния поверхности (появление вакансий и межузелных атомов, внедрение или замещение внедренной примеси, возникновение активных центров, разупорядочение, образование соединений и др.) прежде всего приводит к изменению плотности состояния валентных электронов, которая хорошо отражается на экспериментальном спектре фотоэлектронов: изменение интенсивности, формы и энергетические положения существующих пиков или их исчезновения и появления новых пиков [6,7]. Изучение этих изменении очень важно при разработке многослойных нанопленочных МДП и ПДП структур, электронных и оптических приборов, в том числе солнечных элементов.

Основной целью данной работы являлось экспериментальное изучение влияние разупорядочения кристаллической решетки поверхности монокристаллического Si(111) на его электронную структуру и оптические свойства а также дать теоретические объяснение полученных экспериментальных результатов.

Перед ионной бомбардировкой поверхность Si(111) очищался длительным прогревом при T=1200 K и кратковременным прогревом до T=1500 K в сочетании с мягким травлением поверхности ионами Ar^+. При этом общая концентрация примесных атомами C и O на поверхности не превышала 0,5-1 ат.% и практически не влияло на структуру спектра фотоэлектронов. С ростом дозы облучения происходить уширении пика, уменьшение его амплитуды и смешение положение в сторону больших энергии. При этом поверхность Si от монокрсталлической структуры постепенно переходить к сильно разупорядоченному аморфному состоянию. При ионной бомбардировке состав поверхности Si практически не меняется, поэтому наблюдаемые изменения в основном объясняются разупорядочением поверхности и приповерхностных

слоев. При $D=6\cdot10^{15}$ cm^{-2} происходить полная аморфизация. Однако все особенности характерные для аморфного Si устанавливалась при $D=6\cdot10^{16}$ cm^{-2} и дальнейшие увеличение D практически не приводит к изменению спектра фотоэлектронов.

Таким образом, в работе экспериментально установлено существенное изменение плотности электронных состоянии валентной зоны монокристаллического Si(111) при аморфизации его поверхности ионной бомбардировкой. В чпстности ионная бомбардировка приводит к смещенную положение основного максимума энергетического спектра Si(111) на ~0,4-0,45 эВ в сторону большие энергии, что согласуется с теоретическими представлениями. Показано, что полное разупорядочение поверхностных слоев Si приводит к некоторому росту E_g, увеличению на 15-20 % коэффициента поглощения света при $h\nu \leq E_g$, существенному уменьшению (1,5 и более раза) глубину диффузии атомов контактирующего материала в глубь мишени.

1. Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А., Рузибаева М.К., Ташатов А.К., Донаев С.Б., Мавлянов Б.Б. // Журнал технической физики. 2013. том 83. вып. 9. С.146-149.
2. Umirzakov B. E. , Tashmukhamedova D. A. , Ruzibaeva M. K. , Tashatov A. K. , Donaev S.B. , Mavlyanov B.B. // Technical Physics. 2013. Volume 58. Issue 9. pp. 1383–1386
3. С.Е. Кулкова, С.В.Еремеев, А.В.Постников, Д.И.Бажанов, Б.В.Потапкин // Физика и техника полупроводников. 2007. том 41. вып. 7. С.832-838
4. P.Mutti, G.Ghislotti, S.Pertori, G.F.Cerofolini, L.Meda, E.Grilli, M.Guzza // Appl. Phys.Lett. 1995. 66. 851.
5. Г.А. Качурин¶, С.Г. Черкова, Д.В. Марин, А.К. Гутаковский, А.Г. Черков, В.А. Володин // Физика и техника полупроводников. 2008. том 42. вып. 9. С.1145-1149
6. Эргашов Ё.С. // Журнал технической физики. 2017. том 87. вып. 5. С.758-761
7. Ergashov Y.S. // Technical Physics. 2017. V 62. Issue 5. Pages 777-780
8. Петросян П.Г., Григорян Н. Журнал технической физики. 2017, Том 87, вып.3. С.443-447
9. Муродкобилов Д.М., Ташмухамедова Д.А., Умирзаков Б.Е. // Поверхность. 2013. №10. С.58-63.

ELECTRON IRRADIATION DURING THIN-FILM LiF/Si(111) DEPOSITION

U.B. Sharopov
Physical-Technical Institute, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan

Interest in inelastic processes of defect formation in the near-surface region of wide-gap materials when exposed to atomic particles is constantly growing due to the widespread use of these materials in optoelectronics, surface engineering, space materials science, photovoltaics and other fields of science and technology. Therefore, studies aimed at establishing the nature of the processes of modification of the material surface properties during bombardment with electrons and ions are important.

Lithium fluoride (LiF) has the properties of an active optical material for the creation of film lasers and is also used as an X-ray detector. A serious problem is the instability of working defects at room temperature. This work is devoted to the search for and study of the formation of defects suitable for operation in real conditions.

The measurements were carried out on LiF films grown on a Si(111) single crystal under irradiation with slow electrons for the cases of during (in situ) and after (post) film deposition. The dose and energy dependences of the total current spectra were investigated.

We investigated the processes of defect formation, coalescence and charging in thin layers of LiF/Si(111) under electron bombardment in the range of $0<E\leq80$ eV. The defect formation thresholds were identified by the appearance of peaks in the total current spectra caused by F and F_n aggregate centres.

An in situ experiment showed that F_2^+-centres are formed immediately after the formation of a film layer of a certain thickness, after which their intensity does not change with increasing dose and film thickness. It follows from the dose dependence of the post case that an increase in the concentration of a certain type of defect leads to the formation of another larger defect. In the in situ case, this does not occur due to the constant renewal of the surface of the LiF film with a new layer.

In the in situ case, F_2^+-, F_3^+-, F_3-, and F-centres are formed. At the beginning of the dose, the concentrations of these centres in the film increase, after which they slightly decrease. Furthermore, with an increase in the radiation dose, their intensity does not change. In the in situ case, large aggregate defects (X- and colloidal centres) are not observed. Obviously, in this case, during the dose increase, the film surface is constantly renewed with a new layer (the film is deposited during irradiation), which prevents the coagulation of F-centres and, thus, the formation of large aggregate centres.

KINETICS OF OXYGEN VACANCY ON THE SURFACE OF ZnO CRYSTALS

U.B. Sharopov
Physical-Technical Institute, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan

Defect formation on the surface of zinc oxide using low-energy electrons is studied by the total- current-spectroscopy method.

We are a detailed total-current- spectroscopy [1,2] study of the surface charging of ZnO crystals during irradiation with electrons with an energy of 1–300 eV [3]. The cause of the occurrence of a surface charge should be studied to understand the structure of electronic states and the nature of the chemical bond on the surface of zinc oxide.

We determined that the peak in the total current spectrum at an energy of 2.0 eV corresponds to oxygen vacancies in the zinc oxide lattice [3]. We also carried out the kinetics of the temperature dependences of oxygen vacancies. It was revealed from the temperature dependence that oxygen vacancies up to 300 °C are not annealed. It is shown that the concentration of oxygen vacancies within 4 hours decreases by two times, within 8 hours by five times, then the kinetics of vacancies does not change noticeably.

This is the only way to reduce the concentration of oxygen vacancies on the surface, but it is impossible to completely remove vacancies from the surface. It is very stable in response to temperature and annealing time.

1. U.B. Sharopov, K. Kaur, M.K. Kurbanov, D.S. Saidov, E.T. Juraev, M.M. Sharipov, Controlling the Low-temperature Ionic Purification of a Silicon Surface by Electron Spectroscopy, Silicon. (2021). https://doi.org/10.1007/s12633-021-01268-0.
2. U.B. Sharopov, K. Kaur, M.K. Kurbanov, D.S. Saidov, S.R. Nurmatov, M.M. Sharipov, B.E. Egamberdiev, COMPARISON OF ELECTRON IRRADIATION ON THE FORMATION OF SURFACE DEFECTS IN SITU AND POST THIN-FILM LiF/Si(111) DEPOSITION, Thin Solid Films. (2021) 138902. https://doi.org/10.1016/J.TSF.2021.138902.
3. U.B. Sharopov, B.G. Atabaev, R. Djabbarganov, Defect Formation on the Surface of ZnO Using Low-Energy Electrons, J. Surf. Investig. X-Ray, Synchrotron Neutron Tech. 14 (2020) 101–104. https://doi.org/10.1134/S1027451020010164.

МОРФОЛОГИЯ, СОСТАВ И СВОЙСТВА ПЛЕНОК CdS/Mo(Ш)

Ж.Ш.Содикжанов[1], Б.Е.Умирзаков[2]

[1]*Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан.*

[2]*Ташкентский государственный технический университет*

Бинарные полупроводники типа CdS, CdTe, ZnS широко используются при создании различных элементов лазеров, фотоприемников, солнечных батарей и имеют перспективы при разработке новых приборов опто- и наноэлектроники. В настоящее время хорошо изучено влияние лазерного отжига, прогрева, электронной бомбардировки и бомбардировки ионами O_2^+ на оптические свойства пленок CdS [1 – 6]. В частности установлено, что наличие некоторого количества кислорода (до ~ 10^{20} см^3) приводит к существенному изменению спектра фотолюминесценции и некоторому уменьшению ширины запрещенной зоны E_g пленки CdS.

В данной работе изучено морфология, состав и свойства пленок CdS/Mo(Ш) полученные методом напыления в условиях высокого вакуума.

Перед исследованием пленки CdS очищались прогревом при T = 1200 K в течении 2 – 3 часов в условиях сверхвысокого вакуума (P ≤ 10^{-6} Па). На рис. 1.1 приведены РЭМ (а) и АСМ (б) изображения поверхности пленки CdS. Анализ РЭМ и АСМ изображений показывает, что пленка состоит из отдельных зерен с размерами ~ 200 – 500 нм. Границы этих зерен перекрывают друг друга, образуют большие островки с размерами от ~ 1 мкм до ~ 2 – 3 нм (рис. 1.1, б). Границы этих островков также перекрываются друг другом и образуется сплошная поликристаллическая пленка с шероховатостью поверхности ≤ 6 – 8 нм (рис. 1.1, б и рис. 1.1, а).

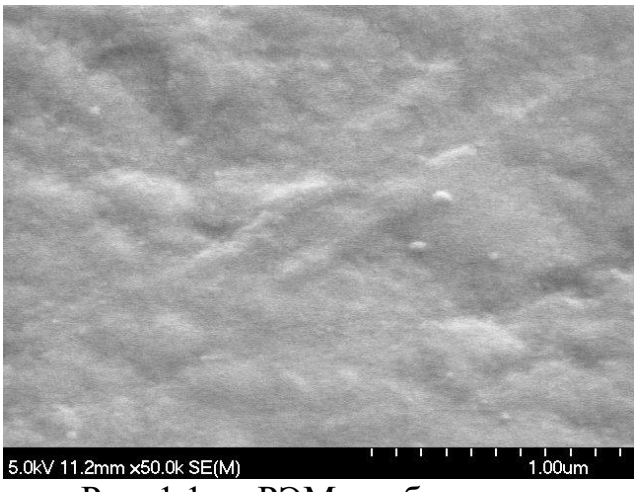


Рис. 1.1, а. РЭМ-изображение поверхности пленки CdS/Mo (111).

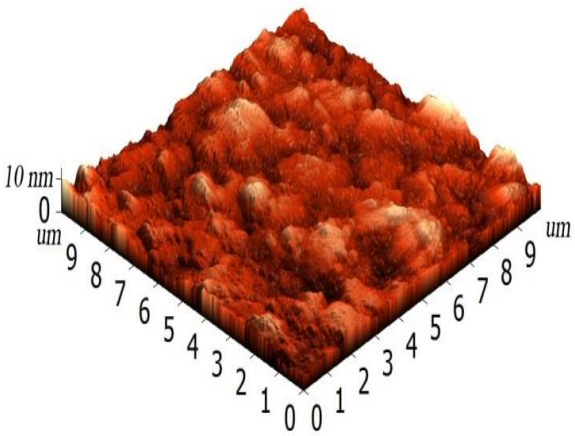


Рис. 1.1, б. АСМ-изображение поверхности пленки CdS/Mo (111).

На рис. 2 приведены зависимости коэффициентов ВЭЭ σ, ИВЭ δ и НОЭ η от энергии первичных электронов E_p для пленки CdS/Mo. Отметим, что сплошные пленки CdS как на поверхности Mo, так и SnO_2 образовались при d ≥ 40 – 50 Å. Видно, что зависимость σ(E_p) проходит через максимум при E_p = 650

эВ, а зависимость $\eta(E_p)$ начиная с E_p = 500 эВ заметно не меняется, устанавливаясь на уровне 0,25. Можно полагать, что начиная с E_p = 600 – 700 эВ глубина зоны выхода истинно-вторичных электронов λ' и соответственно фотоэлектронов не меняется. Поэтому значение λ' нами определялись при $E_p \geq$ 700 эВ.

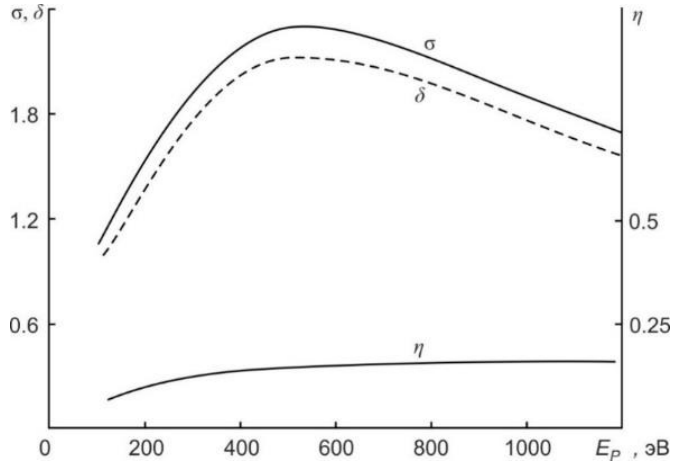


Рис.2. Зависимости σ, δ и η от E_p для пленки CdS/Mo с d = 1 мкм.

Наши дальнейшие исследования показали, что значение коэффициента ИВЭ δ в интервале d = 50 – 100 Å растет почти линейно, а в интервале d = 100 – 150 Å – экспоненциально, а в интервале d = 150 – 250 Å наблюдается очень медленный линейный рост. Начиная с d = 250 Å с ростом d значение δ практически не меняется. Можно полагать, что значение λ' для пленки CdS равна ~ 130 – 150 Å. В области d = 150 – 250 Å некоторое увеличение δ может быть обусловлено вкладом НОЭ с энергией меньше, чем 50 эВ. По-видимому глубина выхода неупругоотраженных электронов $\ell_э$ составляет ~ 250 – 300 Å. Значение λ' хорошо согласуется с расчетными данными выполненными согласно формуле [7]

$$\lambda' = \frac{1{,}9 \cdot 10^{-7}}{Z^{0,6}}$$

где λ', см; ρ, г/см^3, A – эффективный атомный вес CdS, Z – эффективный порядковый номер.

1. А.С. Ворох, С.З. Назарова, Н.С. Кожевникова, ФТТ **54** (6), 1228 (2012).
2. Ж. Жанабергенов, Ш.А. Мирсагатов, С.Ж. Каражанов, Неорган. материалы. **41**, 55 (2005).
3. П.Н. Ткачук, ФТТ **42** (11), 1961 (2000).
4. N.K.Morozova, N.D. Danilevich, A.A. Kanakhin Physica Status Solidi C **7** (6), 1501 (2010).
5. V. Kumar, T.P. Sharma, Optical materials **10**, 253 (1998).
6. Y.P. Venkata Subbaiah, P. Prathap, K.T.R. Reddy, D. Mangalaraj, K. Kim, J. Yi, J. Phys. D: Appl. Phys **40**, 3683 (2007).
7. Бронштейн, *И.*М.*; Фрайман, Б.С. //* Вторичная электронная эмиссия. Изд-во: *М.*: Наука, 1969 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЛОАТОМНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ СЕРЕБРА

Н.И. Иброхимов[1], А.М. Расулов[2], И.Д. Ядгаров[3]

[1]Ферганский политехнический институт, Узбекистан, Фергана

[2]Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми, Узбекистан, Фергана

[3]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, Узбекистан, Ташкент

Небольшие кластеры серебра (Ag_n, n = 3,5,7) моделировались программой Jmol на основе методов МД [1] с использованием потенциала EAM [2]. Определялась геометрические структуры, равновесные конфигурации этих кластеров при температуре кластера 0 K. На рис.1 показаны геометрические структуры мало атомных кластеров серебра. На этих рисунках шарики изображают атомы серебро, в некоторых случаях разными серыми тонами для лучшего восприятия структуры кластеров, серый линии между шариками показывают взаимодействие между атомами.

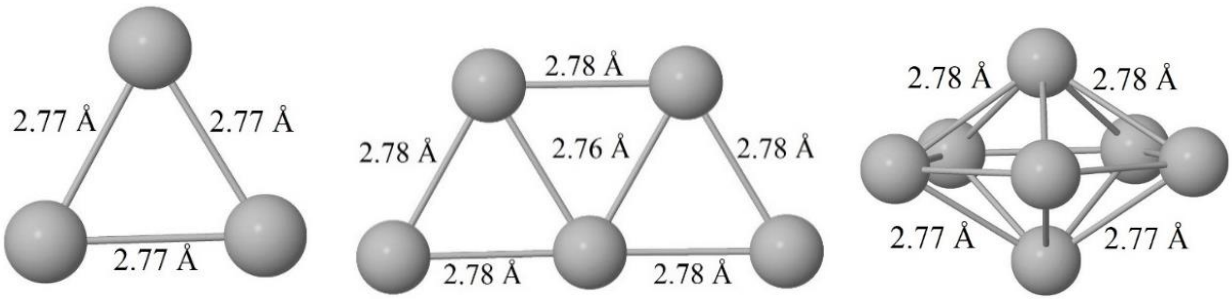


Рис.1. Геометрические структуры малоатомных кластеров серебра

Кластер Ag_3 имеет форму равностороннего треугольника. Кластер Ag_5 имеет форму трапеции, стороны которой равны по длине. Конфигурация кластера Ag_7 состоит из 5 атомов в одной плоскости, образующих простой пятиугольник, причем два других атома расположены симметрично выше и ниже центра этого пятиугольника.

1. Богатиков Е.В. и др. Моделирование нанокластеров методом молекулярной динамики. Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2013. С.10-24.
2. Byeong-Joo Lee. at al. Semiempirical atomic potentials for the fcc metals Cu, Ag, Au, Ni, Pd, Pt, Al, and Pb based on first and second nearest-neighbor modified embedded atom method // Phys. Rev. B 68, 144112 (2003).

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИЯ ИОНОВ Ba^+ НА ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ W(111)

Д.А.Ташмухамедова, Б.Е.Умирзаков, А.Н.Уроков, Ф.Я.Худойкулов, Р.Жавлиев

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан, ftmet@mail.ru

Тугоплавкие металлы и их оксиды и карбиды широко используются в создании омических контактов и барьерных слоев в БИС и СБИС, вторично-эмиссионных и термоэмиссионных катодов, зондов для сканирующих зондовых микроскопов и др. В настоящее время хорошо изучены влияния различных внешних воздействий (ионная имплантация, напыление атомов) на состав, структуру и свойства Mo и их окислов [1, 2]. Такие исследования в случае монокристаллических и поликристаллических образцов практически не проводились.

В данной работе впервые изучено влияние адсорбции атомов и имплантации ионов Ba^+ на эмиссионные свойства монокристаллического вольфрама.

В таблице приведены основные эмиссионные параметры W(111) имплантированного ионами Ba^+ с E_0 = 1 кэВ при D = $6\cdot10^{16}$ cm^{-2}.

Таблица

Значения $e\varphi$, σ_m и Y для W(111) имплантированного ионами Ba^+

Параметры	W(111)	$Ba^+ \rightarrow$ W(111)
$e\varphi^*$, эВ	5,1	2,8
σ_m **	1,8	3,1
$Y\cdot10^{-5}$ (при $h\nu$ = 6 эВ)	2,1	13,6

* – Значение $e\varphi$ определено по формуле $e\varphi = h\nu - \Delta E$;

** – σ_m максимальное значение коэффициента ВЭЭ.

Видно, что ионная имплантация приводит к уменьшению $e\varphi$ и увеличению σ_m и Y. Увеличение σ_m объясняется как уменьшением $e\varphi$ и увеличением плотности ионно-имплантированного слоя. Катоды на основе W до сих пор широко используются в приборах термоэлектронной эмиссии.

1. Бугерко Л.Н., Борисова Н.В., Суровая В.Э., Еремеева Г.О. // Ползуновский вестн. Общая и теор. химия. 2013. №1. С. 77.
2. Миннеханов А.А., Вахрина Е.В., Константинова Е.А., Кашкаров П.К. // Письма в ЖЭТФ. 2018. Т. 107. Вып. 4. С. 270.

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА НАНОСТРУКТУР $NiSi_2$ СОЗДАННЫХ В ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ОБЛАСТИ Si МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Б.Е.Умирзаков, Д.А.Ташмухамедова, М.А.Мирджалилова, М.Б.Юсупжанова, Ф.Ф.Рискинбоев

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,100095 Ташкент, Узбекистан, e-mail: ftmet@rambler.ru

В последнее годы для создания наноразмерных гетероструктур часто используется метод низкоэнергетической ионной имплантации и на основе Si получены системы типа $MeSi_2$/Si, SiO_2/Si, $CoSi_2$/Si/$CoSi_2$/Si [1, 2]. При создании этих структур после каждого цикла ионной имплантации проводился отжиг при температуре образования соединения $MeSi_2$ и SiO_2. Определены оптимальные режимы ионной имплантации (энергия, доза) и отжига. В частности в получение двухслойной системы $CoSi_2$/Si/$CoSi_2$/Si оптимальными являлись энергии E_o = 20 – 30 и 0,5 – 2 кэВ [2]. Данная работа посвящена получению нанокристалических фаз и слоев $NiSi_2$ в приповерхностной области Si.

Объектами исследования являлись монокристаллические образцы Si (111). Нанокристаллические фазы и сплошные слои $NiSi_2$ в приповерхностном слое монокристаллического Si получены имплантацией ионов Ni^+ в Si с вариацией энергии E_0 от 15 до 30 кэВ и дозы от 10^{14} до 10^{17} $см^{-2}$ с последующим отжигом при температуре формирования монокристаллического $NiSi_2$. Основные исследования проводились для Si имплантированного ионами Ni^+ с энергией E_0 = 25 кэВ. Для исследования были подготовлены 5 одинаковых, хорошо обезгаженных образцов Si (111). Эти образцы имплантировались ионами Ni^+ с E_0 = 25 кэВ при дозах D, $см^{-2}$: 0 (чистый Si, образец №1), $2\cdot10^{14}$ (№2), $2\cdot10^{15}$ (№3) и $8\cdot10^{15}$ (№4) и $8\cdot10^{16}$ (№5). Последняя доза соответствует дозе насыщения. Результате ОЭС показали, что во всех случаях постимплантационный отжиг при температурах T = 800 (образец №2), 850 (№3) и 900 К (№4 и №5) приводит к формированию эпитаксиальных нанокристаллических фаз (№2 и №3) и нанослоя (№5) $NiSi_2$. При этом толщины нанофазы $NiSi_2$ (образец №3) и нанослоя $NiSi_2$ (№5) мало отличаются друг от друга и составляет ~ 10 – 12 нм.

Таким образом, впервые методом имплантации ионов Ni^+ в Si с энергией 15 – 30 кэВ в сочетание с прогревом в приповерхностной области Si получены наноразмерные структуры $NiSi_2$.

1. Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А., Мурадкабилов Д.М., Болтаев Х.Х. // ЖТФ. 2013. Т. 83. Вып. 6. С. 66–70.
2. Эргашов Ё.С., Умирзаков Б.Е. ЖТФ. 2018, Т.83. № 2 С.1859-1862.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОДЕСОРБЦИИ МОЛЕКУЛ С ПОВЕРХНОСТИ ОКИСЛЕННОГО ВОЛЬФРАМА

И.М.Сайдумаров[1], Д.Т.Усманов[2]
[1]*Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент*
[2]*Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, Узбекистан, Ташкент*
saidilh@mail.ru

Адсорбция и поверхностная ионизация многоатомных молекул азотистых основания на поверхности окисленного вольфрама исследована методами модуляции напряжения с помощью высоковакуумной масс-спектрометрической установки с использованием «черной камеры», все стенки которой охлаждаются жидким азотом.

Как известно, кинетические характеристики можно определить, используя изотермические методы, для того чтобы исключить влияние температуры на реакции, протекающие на поверхности [1].

Принимались специальные меры для предотвращения «отравления» эмиттера продуктами разложения на нем исследуемых молекул [2]: использовались минимальные потоки исследуемых молекул на поверхность, была предусмотрена возможность подачи на поверхность эмиттера потока кислорода $\left(\sim 5\cdot 10^{13} мол/см^2 сек\right)$, осуществлялся контроль возможности отравления путем сравнения сложных исследуемых молекул с результатами, в т.ч. полученными ранее, при адсорбции молекул с существенно меньшими числом атомов углерода, например, результаты адсорбции имипрамина и триметиламина с получением ионов $CH_2 = N^+(CH_3)_2$.

Изучение адсорбции и диссоциативной поверхностной ионизации многоатомных молекул азотистых оснований на поверхности окисленного вольфрама методами модуляции напряжения позволяют определения не только константу скорости K^+ и энергию активации E^+ десорбции в виде ионов продуктов диссоциации исходных молекул, но и в нейтральном виде.

В работе полученные кинетические характеристики гетерогенной реакции диссоциации многоатомных молекул азотистых оснований, имеющие важное значение не только для гетерогенного катализа, но и для ряда прикладных задач.

1. Rakhmanov G.T., Rasulev U.Kh., Saidumarov I.M.//Surface and Interface Analysis.V.38.2006.P.219.
2. Саидумаров И.М., Рахманов Г.Т., Худоева Х.К..//Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2009. №8. С.103.
3. Д.Т. Усманов, И.М. Сайдумаров. Определение коэффициенты поверхностной ионизации гетерогенной реакции диссоциации многоатомных молекул азотистых оснований и термодесорбции ее продуктов. Uzbek journal of Physics. 2019.Vol.21(№6).PP.351-355.

ИССЛДЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЕРХНЕГО ПРЕДЕЛА ЛИНЕЙНО ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ПОВЕРХНОСТНО-ИОНИЗАЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ

А.Ш.Раджабов, Д.Т.Усманов, С.С.Исхакова, В.М.Ротштейн, А.С.Халматов, Ш.М.Ахмедов

Институт Ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова Академии Наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан,

a.radjabov0217@gmail.com

Проблема незаконного оборота наркотиков, психотропных препаратов, их злоупотребление, а также широкие применения в сельском хозяйстве пестицидов требуют разработки относительно простых и недорогих, но селективных и высокочувствительных методов экспрессного физико-химического анализа для их обнаружения в различных образцах. Одним из таких методов, который может удовлетворять широкий спектр данных аналитических требований является методы основанных на поверхностно-ионизационным (ПИ) детектировании органических молекул. ПИ детекторы является селективным ионизационным детектором работоспособным в условиях атмосферы воздуха, что является одном из важных особенностей приборов, построенных на их основе. Поэтому развитие поверхностно-ионизационного газоаналитического приборостроения позволяет решить ряд задач вне лабораторной аналитической химии по обнаружению и анализу этих классов веществ.

На данный момент существует большое количество научно-практических работ, посвященных выявлению закономерностей ПИ молекул органических соединений, разработке ПИ детекторов разных конструкций и разработке на их основе методов обнаружения и анализа веществ в различных биологических образцах, поиску эффективных и эмиссионно-стабильных ПИ эмиттеров для детекторов, определению чувствительности и линейно динамического диапазона (ЛДД) ПИ детекторов к веществам. Несмотря на это, отсутствуют сведения о механизме возникновения верхнего предела ЛДД (ВПЛДД) ПИ детекторов.

Детекторы применяемых в научно-исследовательских и аналитических областях имеют разные технические характеристики дающей разные значения ВПЛДД. Но для каждого из них, общим фактором влияющих на значения данного параметра является физико-химические процессы на ионизаторе (или в области ионизаций). Поэтому, настоящая работа посвящено выявлению механизма возникновения ВПЛДД ПИ детекторов от физико-химических процессов происходящих при адсорбции молекул анализируемых веществ на поверхность ПИ эмиттера детектора.

Из закономерностей ПИ известно, что гетерогенные процессы, происходящие при адсорбции молекул на поверхности ПИ эмиттера (химические реакции молекул по различному каналу, термодесорбция молекул и частиц продуктов химических реакции в ионном и нейтральном состояниях)

происходят с определенной скоростью, значения которых зависит от температуры (T_E) и работы выхода ПИ эмиттера. Поэтому, цель работы было исследования закономерности возникновения ВПЛДД детектора от изменения T_E и работы выхода эмиттера ПИ детектора.

Для этого, ПИ детектором регистрировались спектры термодесорбции (ТД) морфина, героина, папаверина и кодеина при разных значениях T_E эмиттера, а также методом ПИ масс-спектрометрии исследовано ~~ПИ~~ молекул триэтиламина (ТЭА) при их раздельной адсорбции и совместной адсорбции с атомами цезия.

График зависимости заряда Q площади ТД спектров от массы m анализированных веществ продемонстрировали смещение ВПЛДД в область высоких m при увеличений T_E эмиттера. Анализ смещений ВПЛДД при разных значениях T_E позволил сделать вывод, что это связано с увеличением степени покрытия поверхности эмиттера молекулами веществ, что приводит к снижению работы выхода эмиттера, и что этот процесс влияет на ход гетерогенных химических процессов происходящих в адсорбционном слое эмиттера. Результаты исследований ПИ ТЭА при раздельной и совместной его адсорбций с атомами Cs позволили пояснить механизм влияния уменьшения работы выхода эмиттера на ход гетерогенных химических процессов.

Основными линиями в ПИ масс-спектре ТЭА является $[M\text{-}H]^+$ и $[M\text{-}CH_3]^+$ ионы, температурный порог образования которых главным образом обусловлено, соответственно, порогом ПИ и химической реакции диссоциации ТЭА. Cs является легко ионизируемом атомом и температурный порог образования Cs^+ обусловлено порогом ПИ, механизм возникновения которого заключается в уменьшении работы выхода эмиттера при увеличении степени покрытия его поверхности атомами Cs.

Результаты исследований совместной адсорбции ТЭА и Cs показали, что в температурном порог ПИ Cs, уменьшается образования ионов $[M\text{-}H]^+$ и $[M\text{-}CH_3]^+$. Однако, из-за резкого уменьшающего действия атомов Cs на значения работы выхода эмиттера, разницу между степенями уменьшения не удалось оценит.

Для оценки степени действия уменьшения работы выхода эмиттера на образованию ионов $[M\text{-}H]^+$ и $[M\text{-}CH_3]^+$, ПИ ТЭА исследовано при высоких значениях их потока. Анализ результатов исследования показали, что чем больше значения потока ТЭА, адсорбирующего на эмиттер, тем больше уменьшается работы выхода. Уменьшение работы выхода эмиттера влияет не только на температурный порог ПИ (M-H) частиц, но и на температурный порог химических реакции диссоциации ТЭА приводящего к образованию ($M\text{-}CH_3$) частицы.

Таким образом, ВПЛДД возникает из-за уменьшения работы выхода эмиттера и его влиянием на температурный порог ПИ частиц и температурный порог химических реакции молекул исследуемых веществ, приводящего к образованию ионизируемых частиц.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ БЫСТРОДЕЙСТВИЕМ И ЛИНЕЙНО ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ ПОВЕРХНОСТНО-ИОНИЗАЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ

А.Ш.Раджабов, Д.Т.Усманов, С.С.Исхакова, В.М.Ротштейн, А.С.Халматов, Ш.М. Ахмедов, Ш.Ш. Раджабова

Институт Ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова Академии Наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан,

a.radjabov0217@gmail.com

В мире для обнаружения и анализа физиологически активных органических соединений – наркотиков, психотропных препаратов, пестицидов и их метаболитов разработаны различные физико-химические методы. Среди них, методы, основанные на поверхностно-ионизационном детектировании органических соединений, отличается со своей высокой чувствительностью, селективностью, а также возможностью построит на их основе относительно простых, недорогих и портативных приборов для экспрессного химического анализа веществ работоспособного в условиях атмосферы воздуха. Поэтому, методы основанных на ПИ детектировании, позволяет решить широкий спектр задач внелабораторной аналитической химии по анализу этих классов веществ. В связи с этим, настоящая работа направлена на развития методов ПИ детектирования.

Как известно, одним из требований, предъявляемых к детекторам является широкий линейно динамический (ЛДД) диапазон. Детекторы применяемых в научно-исследовательских и аналитических областях имеют разные технические характеристики дающей разные значения ЛДД. Но для каждого из них, общим фактором влияющих на значения данного параметра является физико-химические процессы происходящего на ионизаторе (или в области ионизаций).

В работе [1] было исследовано зависимость быстродействия ПИ детектора от температуры (T_E) эмиттера. Было выявлено, что с увеличением T_E эмиттера быстродействия ПИ детектора увеличивается, и что данное связь обусловлено увеличением скоростей гетерогенных химических процессов в адсорбционном слое эмиттера при увеличении T_E. В связи с этим, цель настоящий работы было исследования ЛДД детектора, когда его быстродействия увеличивается посредством увеличения T_E. Экспериментальное исследование производилось в лабораторном стенде построенного на базе стандартного ПИ детектора и системы испарения веществ термодесорбционных (ТД) спектрометров серии «Искович».

На рис.1а и 1б представлено ТД спектры морфина полученных при разных значениях T_E и зависимость температуры максимума спектра $T_{\max}$ от T_E. Как видно, с увеличением T_E, закономерность ТД спектров $I(T)$ получаемых детектором приближается к закономерности спектра испарения $\nu_{is}(T)$ самого вещество (рис.1а, 8 кривой), а величина $T_{\max}$ ТД спектра к температуре максимума испарения вещества $T_{is\,\max}$. В температуре 708 К эмиттера,

закономерность $I(T)$ повторяет закономерность $\nu_{is}(T)$, между температурами максимумов устанавливается соотношения $T_{\max} = T_{is\max}$. Это явление свидетельствует о том, что быстродействия детектора увеличивается с повышением T_E.

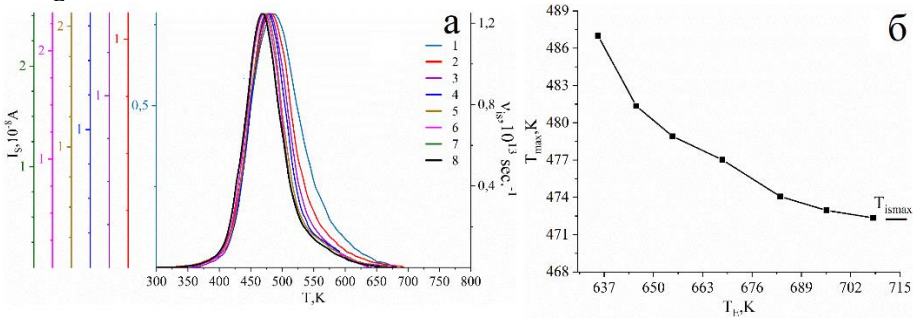


Рис.1. а) ТД спектры морфина. Значение T_E: 1 – 635,4 К; 2 – 645,5 К; 3 – 655 К; 4 – 668 К; 5 – 683,5; 6 – 695,6 К; 7 – 708 К; 8- Поток молекул. б) Зависимость $T_{\max}$ от T_E.

На рис.2а и 2б представлены ТД спектры морфина при разных массах m морфина. Спектры в 2а получены при температуре 708 К эмиттера, когда быстродействия детектора высокая, а спектры в 2б получены при 655 К, когда быстродействия детектора не достаточна повторения закономерности $\nu_{is}(T)$, На рис.2в построены зависимость заряда Q площади спектра от массы m морфина для соответствующих значений T_E эмиттера.

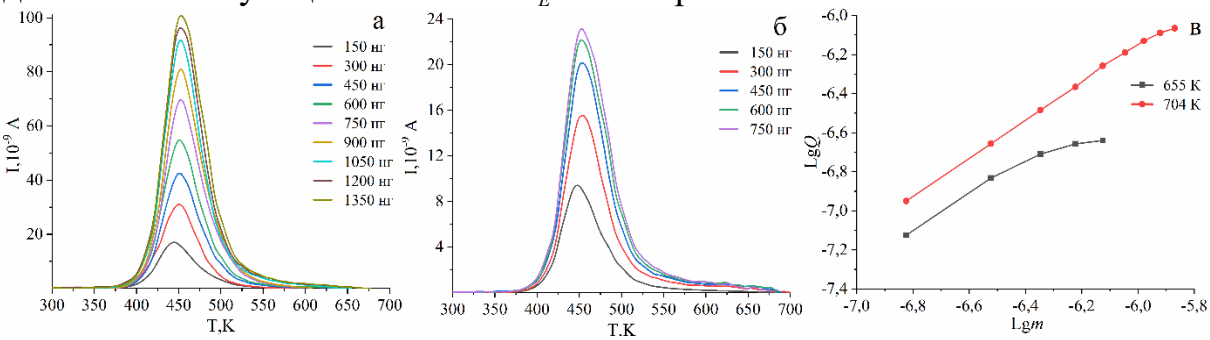


Рис.2. а, б – ТД спектры морфина полученных при 704 К и 655 К температуры эмитера; в – зависимость *Q(m).*

Как видно из рис.2в, верхний придел ЛДД полученного при 708 К равен $10^{-5.9}$ грамм (~1,25 мкгр). При 655 К, $10^{-6.5}$ грамм (~320 нгр). В обеих случаях нижний придел ЛДД составляло порядка 1 нг. Тогда для значения ЛДД получим значения $1{,}25\cdot10^{3}$ и $3{,}2\cdot10^{2}$. Аналогичное зависимости наблюдались и при исследовании папаверина, героина и кодеина.

Таким образом, с увеличением быстродействия детектора ЛДД уширяется. Данное взаимосвязь обусловлена тем, что скорость гетерогенных процессов, протекающих в адсорбционном слое эмиттера, увеличивается с повышением T_E.

1. А.Ш. Раджабов, Д.Т. Усманов и др., Исследование инерционности поверхностно-ионизационных детекторов, стендовые доклады 50-й международной талибовской конференции, 2021 г. http://tulinov.sinp.msu.ru

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСАЖДЕНИЯ АТОМОВ УГЛЕРОДА НА ГРАФЕН

Х.И.Жабборов[1], Ж.Х.Джуманов[2], И.Д.Ядгаров[3]

[1]Научно-исследовательский институт цифровых технологий и искусственного интеллекта при Министерство по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан

[2]Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, Узбекистан, Ташкент

[3]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, Узбекистан, Ташкент

Бездефектный графен, являющийся двумерной гексагональной углеродной кристаллической решёткой, является уникальным объектом в ряду других [1]. Между тем присоединение к бездефектному графену дополнительных атомов или молекул изменяет и расширяет свойства свободного графена. Графен можно функционализировать присоединением углеродных атомов, димеров и тримеров, молекул CH_4 и CO_2 и др. В настоящей работе посредством компьютерного моделирования рассматривается возможность функционализации графена путем осаждения на него атомов углерода с разной степенью гидрирования и влияния гидрирования на вероятность осаждения. Сначала методом минимизации энергии с использованием потенциала Бреннера второго поколения (REBO), который хорошо описывает углеродные и водород-углеродные структуры [2], были построены компьютерные модели свободного атома углерода с разной степенью его гидрирования: метин CH, метилен CH_2, метил CH_3 и метан CH_4 (см. рис. 1). Согласно компьютерному моделированию расстояние между атомами в метине 1.09 Å (ангстрем), энергия когезии атома водорода 2.263 электрон-вольт (эВ), в метилене атомы водорода находятся на противоположных сторонах от атома углерода на одной линии на расстоянии 1.105 Å от атома углерода и энергия когезии атома водорода 2.117 эВ. Метил представляет из себя плоский правильный треугольник, в середине которого находится атом углерод, а в углах находятся атомы углерода, расстояние между атомом углерода и водорода равно 1.093 Å, энергия когезии атома водорода равна 2.229 эВ. Метан представляет собой правильную объёмную фигуру тетраэдр [3], в середине которого находится атом углерод, а в углах находятся атомы углерода, расстояние между атомом углерода и водорода равно 1.089 Å, а энергия когезии атома водорода равна 2.273 эВ.

Компьютерная модель бездефектного графена прямоугольной формы, состоящая из 112 атомов углерода (подробности и обоснования такой модели, строилась также методом минимизации энергии с использованием потенциала Бреннера с дополнительным наложением периодических условий на граничные атомы графена вдоль плоскости этой структуры. Затем эта модель графена прошла процесс дампирования (введения сил взаимодействия при T=0 K) и процесс термализации дампированной структуры, в результате чего модель

графена «разогрели» до 300 K. В результате была получена двумерная гексагональная кристаллическая решётка с расстоянием между ближайшими атомами 1.42 Å и энергией когезии каждого атома углерода 7.395 эВ.

После того как была получены компьютерные модели свободных гидрированных атомов углерода CH, CH_2, CH_3, CH_4 и бездефектного графена, разогретого до 300 K, изучались процессы осаждения гидрированного и негидрированного атомов углерода с кинетическими энергиями 1.0, 1.2, 1.5, 2.3 и 3.1 эВ на этот графен.

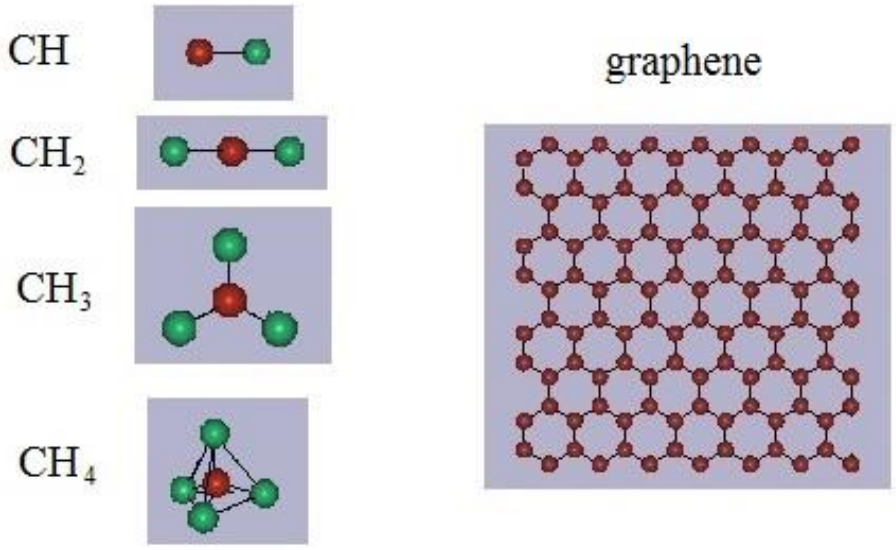


Рис.1. Визуальные представления компьютерных моделей одиночных метина, метилена, метила и метана и 112-атомного прямоугольного графена

Таким образом, компьютерным моделированием в рамках молекулярной динамики было установлено, что процессы осаждения на бездефектный графен негидрированного и гидрированного атомов углерода зависят от степени гидрирования атома углерода: чем сильнее гидрирован атом углерода, тем меньше его вероятность хемосорбрбироваться на графене, метан, как полностью гидрированный атом углерода не хемосорбирует на графене при энергиях осаждения от 1 до 3.1 эВ. Также установлено, что максимальная вероятность хемосорбции C, CH, CH_2 и CH_3 на графен должна наблюдаться при энергии их осаждения около 2.3 эВ.

1. A.K. Geim, K.S. Novoselov, Nature Mater 6, 183. (2007).
2. D.W. Brenner, O.A. Shenderova, J.A. Harrison, S.J. Stuart, B. Ni, S.B. Sinnot, J. Phys: Condens. Matter. 14, 783 (2002).
3. A.A. Dzhurakhalov, F.M. Peeters, Carbon 49, 3258 (2011).

СЕКЦИЯ 2. ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА (МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ).

SECTION 2. PHYSICAL ELECTRONICS (METHODS AND INSTRUMENTS).

МЕТОДЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ: ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ, КАК ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА С 2D-ГЕОМЕТРИЕЙ ДВУХ ОБЪЕМНЫХ ФАЗ ТВЕРДОЕ ТЕЛО – ВАКУУМ С 3D-ГЕОМЕТРИЕЙ, И МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТОМНЫХ ЧАСТИЦ НА ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

М.В. Кремков

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова Академии наук Республики Узбекистан, г.Ташкент, Узбекистан

fund@academy.uz

Изучение физико-химических процессов на поверхности и в приповерхностной области различных материалов является одним из приоритетных направлений их исследования и корпускулярной диагностики, осуществляемых различными методами физической электроники. При этом используются первичные зондирующие поверхность под разными углами падения (вертикальный α_p, азимутальный β_p) и с различной энергией E_p пучки или потоки электронов e_p, положительно заряженных ионов m_p^+, в том числе многозарядных m_p^{+k}, отрицательных ионов m_p^-, кластеров, а также потоки частиц плазмы, ультрафиолетового и лазерного излучения.

В результате взаимодействия потоков этих первичных частиц большой плотности с атомами и молекулами, находящимися на поверхности, с 2D-геометрией, и в приповерхностной области материалов, с 3D-геометрией, одновременно происходит целый ряд элементарных процессов. В том числе происходит упругое и неупругое рассеяние первичных частиц, а также возбуждение и эмиссия с поверхности вторичных частиц – электронов e_s, распыленных или десорбируемых атомов m_s, ионов (заряженных положительно m_s^+ или отрицательно m_s^-), кластеров n_xm, которые выходят с поверхности с разными энергиями E_s и под разными углами α_s, и β_s, и далее регистрируются высокочувствительными аналитическими приборами, соответственно используемыми в методах физической электроники.

На основе знания потенциалов парного и коллективного взаимодействия первичных частиц с атомами и молекулами приповерхностной области материалов, а также характеристик потоков вторичных эмитируемых частиц можно будет переходить к описанию конкретных электронных, эмиссионных, адсорбционно-десорбционных и каталитических процессов, происходящих на поверхности и в приповерхностной области материалов, а также процессов рассеяния и каналирования первичных частиц, легирования, дефекто- и кластерообразования, формирования тонких пленок, адсорбционных покрытий и других элементарных процессов, связанных с взаимодействием частиц на поверхности и в приповерхностной области.

В представленной работе систематизированы и проанализированы особенности различных методов физической электроники, применяемых для исследования вышеназванного комплекса элементарных процессов взаимодействия частиц, происходящих на поверхности и в приповерхностной

области материалов. Характеристики трех основных разновидностей методов физической электроники – эмиссионной электроники, высоковакуумной электроники и прикладной физической электроники, приведены нами в соответствующих таблицах. В этих таблицах также показаны используемые для корпускулярной диагностики и исследования поверхности атомные частицы и конкретные явления, изучаемые данными методами.

С другой стороны, имеет важное значение и представляет самостоятельный интерес применение методов математического моделирования элементарных процессов и явлений, происходящих на поверхности и в приповерхностной области различных материалов при облучении их потоками ускоренных заряженных частиц с целью последующего обоснованного описания этих процессов.

Данная задача математического моделирования динамичных процессов, происходящих при взаимодействии первичных частицам с частицами материала, и вызываемых ими соответствующих явлений на поверхности, является комплексной и многопараметрической. Это требует развития основ методологии поэтапного математического моделирования результатов взаимодействия первичных частиц с поверхностью исследуемых материалов.

Причем, каждый процесс взаимодействия и рассеяния первичных частиц на поверхности, приводящий к эмиссии или распылению вторичных частиц, описывается соответствующими потенциалами взаимодействия $U(m_p, e, m_i)$ и алгоритмами. В общем случае эти суммарные процессы взаимодействия можно записать в виде следующего преобразования:

$$F_1(m_p^+, m_p^{+k}, m_p^-, e_p, E_p, \alpha_p, \beta_p) \rightarrow U(m_p, e, m_i) \rightarrow F_2(m_s^+, m_s^{+k}, m_s^o, m_p^+, m_p^{+k}, e_{ps}, e_s, E_s, \alpha_s, \beta_s),$$

где функции F_1 и F_2 описывают первичные и вторичные ионы, электроны.

Это алгоритмическое преобразование отражает суть предлагаемой нами методологии моделирования результатов взаимодействия первичных частиц с поверхностью исследуемых материалов. На его основе можно сделать выводы не только о происходящих процессах взаимодействия частиц - парные, коллективные (с образованием плазмонов, фононов, фракталов), дефекто- и кластерообразование, но и о типе исследуемого материала, совершенстве его кристаллической структуры, наличии примесей, об адсорбционно – десорбционных и других процессах на поверхности.

Для конкретных первичных и вторичных частиц алгоритм моделирования связанных с ними процессов на поверхности существенно упрощается. В качестве примера нами рассмотрено моделирование процесса вторичной электронной эмиссии, алгоритм которого запишется в виде:

$$F_1(e_p, E_p, \alpha_p, \beta_p) \rightarrow U(e_p, e_i) \rightarrow F_2(e_s, E_s, \alpha_s, \beta_s).$$

При этом используется физическая модель взаимодействия и создается соответствующая ей программа, реализуемая на основе алгоритмизации и ИКТ технологий, как в общем случае математического моделирования.

Здесь также следует учитывать граничные условия на поверхности исследуемого материала – его структуру, наличие адсорбированных частиц, температуру, а также параметры потока первичных электронов и риски, связанные с возможной неадекватностью созданной математической модели происходящим элементарным процессам электронного взаимодействия.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ОТЖИГА НА ПРОФИЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ АТОМОВ В Si(111) И Si(100)

М.Т.Нормурадов[1], Д.А.Нормуродов[1], И.Р.Бекпулатов[2], Ж.Б.Хужаниязов[2]
[1]Каршинский государственный университет, Узбекистан.
[2]Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан.
bekpulatov85@rambler.ru

Значительный интерес к исследованию силицидов, особенно наноразмерных пленок силицидов обусловлен большой потенциальной возможностью их применения в качестве материала низкоомных контактов, *p*-*n*-переходов, элементов кремниевых интегральных схем, что подтверждается интенсивным ростом публикаций по этой тематике [1-3]. В настоящее время бурно развивается направление по созданию тонкопленочных структур на поверхности кремния. При получении концентрационных профилей распределения по оже-пикам, в зависимости от энергии оже-электрона, измеряемый сигнал несет в себе усредненную по большей или меньшей глубине информацию о количестве каждого компонента в образце, причем область усреднения может доходить до 3-5 монослоев. Влияние этого усреднения может быть особенно заметным, в случае когда валентные оболочки исходных атомов сильно деформируются.

Поэтому для устранения данного недостатка нами использована, предложенная в [4] дифференциальная методика обработки экспериментальных данных, полученных при однослойном травлении поверхности образца. Суть этой методики заключается в том, что расчет концентрации элемента в каком-нибудь слое осуществляется посредством вычитания интенсивностей оже-пиков от предыдущего и последующего слоев. Поэтому, полученное таким образом, значение концентрации не содержит усредненной информации и соответствует фактической концентрации в данном монослое. Типы образующихся химических соединений нами определялись по профилям распределения концентрации атомов в ионно-имплантированном слое кремния по интенсивности низкоэнергетических пиков Si и внедренной примеси. Профили распределения атомов по глубине нами снимались методом количественной ЭОС при послойном стравливании пучком ионов Ar^+ с энергией 1,5-3 кэВ, падающими под углом 15^0 к поверхности. Скорость травления составляла 3-4 Å·мин$^{-1}$.

Для улучшения качества приборов, создаваемых на основе структур силицид-кремний необходимо создание подобных структур с резкой границей раздела и малой шириной переходного слоя. Для достижения этой цели нами было исследовано влияние предварительной имплантации ионов B^+ в *p*-Si с энергией 1,5 кэВ и дозой $6\cdot10^{16}$см$^{-2}$ на профили распределения атомов Na в кремнии.

На рисунке приведены профили распределения атомов Na, имплантированных в исходный *p*-Si с энергией 1 кэВ (кривая1) и подвергнутой

последующему отжигу при 700 К (2), Na имплантированного в Si(111), предварительно легированный бором с энергией 1,5 кэВ и дозой $6\cdot10^{16}$см$^{-2}$ (кривая 3) и подвергнутой отжигу при Т=700 К (кривая 4). Видно, что проведение имплантации ионов Na^+в *p*-Si(111), предварительно легированный ионами B^+ с большой дозой приводит к уменьшению максимального пробега атомов Na примерно на 30 % и к резкому уменьшению ширины переходного слоя как после имплантации (кривые 1,3), так и после проведения последующего термического прогрева (кривые 2,4). Аналогичный эффект наблюдался и для образцов Si, имплантированных другими ионами.

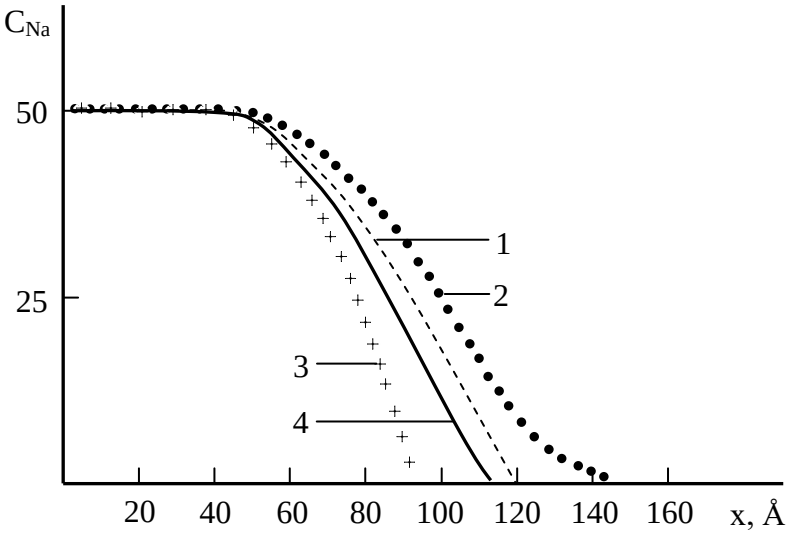


Рис.1. Концентрационные профили распределения атомов Na, имплантированных в Si с E_0=1 кэВ (кривая1), после отжига при Т=700 К (2), Na имплантированого в Si(111), предварительно легированный бором с E_0=1,5 кэВ и D=$6\cdot10^{16}$см$^{-2}$ (кривая 3) и подвергнутой отжигу при Т=700 К (кривая 4).

Таким образом, проведение имплантации ионов Na^+ в *p*-Si(111), предварительно легированный ионами B^+ с большой дозой приводит к уменьшению максимального пробега атомов Na примерно на 30 % и к резкому уменьшению ширины переходного слоя как после имплантации, так и после проведения последующего термического прогрева [4].

1. Рысбаев А.С., Хайриддинов Б.Э., Хужаниязов Ж.Б., Бекпулатов И.Р., Файзуллаев Р.Ф. Гетероструктурные переходы BaSi-Si и NaSi-Si, полученные низкоэнергетической ионной имплантацией. // Узбекский физический журнал. 2016, Vol. 18, № 6, P. 396-402.
2. Бекпулатов И.Р., Хужаниязов Ж.Б., Рысбаев А.С., Халиков Ю.Д. Новая методика очистки поверхности монокристаллов полупроводников// Вестник ТашГТУ, 2015, № 3, с. 30-38.
3. Рысбаев А.С., Хужаниязов Ж.Б., Рахимов А.М., Бекпулатов И.Р., Файзуллаев Р.Ф. Исследование процесса формирования тонких наноразмерных плёнок силицидов Na, P, B и щелочных элементов// Вестник ТашГТУ, 2013, №4, С. 42-48.
4. Бекпулатов И.Р. Получение наноразмерных плёнок силицидов металлов и их физические свойства. / Дис. PhD., Ташкент, 2018, с. 127.

СПОСОБ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВАКУУМНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛОВ Si И GaAs

А.С. Рысбаев[1], З.А.Турсунметова[2], И.Р.Бекпулатов[1], И.Х.Турапов[1]

[1]*Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан.*

[2]*Институт Физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана им. Мирзо Улугбека.*

bekpulatov85@rambler.ru

Получение атомарно чистой поверхности кремния и арсенида галлия является актуальной проблемой электронного приборостроения, как так результаты экспериментальных исследований и различных технологических операций, проводимых с целью создания приборных элементов на основе Si и GaAs во многом зависят от состояния их исходной поверхности.

Целью данной работы является разработка новой технологии низкотемпературной вакуумной очистки поверхности монокристаллов Si и GaAs.

В качестве объектов исследования были выбраны монокристаллы GaAs (111) и Si (111) *n* и *p* – типа с удельным сопротивлением 6000 Ом·см. Аналитическая часть прибора с анализатором типа сферического зеркала с тормозящим полем, позволяет контролировать состояние поверхности методами электронной оже–спектроскопии (ЭОС), спектроскопии упруго рассеянных электронов (СУРЭ), фото - электронной спектроскопии (ФЭС) и дифракции медленных электронов (ДМЭ) при давлении остаточных газов не более 10^{-7} Pa [7, 8].

Для достижения поставленной цели нами было проведено сравнение спектров состояния поверхности (состав и кристаллическое строение) GaAs (111) и Si(111), очищенных различными способами. Исследованиями состава поверхности методом ЭОС установлено, что в приповерхностной области GaAs имеются такие примеси, как O, C, S, P, N, а Si - O, C, S, Na, N. Источниками этих примесей могут быть окружающая среда, либо среда, используемая для предварительной обработки, или сам кристалл, примесные атомы которого из объема могут диффундировать в приповерхностную область. Обычно присутствующие после предварительной обработки кристалла GaAs примеси полностью удаляются в процессе отжига при температурах ~ 600 K. Аналогичные зависимости *I* от *T* для примесей содержащихся в приповерхностной области Si приведены на рис. 1. Как видно из рисунка содержание O, C и S на поверхности Si при прогреве с T=500 – 600 K увеличивается за счет их диффузии из приповерхностной области Si, с дальнейшим повышением температуры их интенсивности уменьшаются достигая минимальных значений *S* при 750 K, O – при 1050 K. Появление второго максимума при 1000 K для C вероятно связано с началом диффузии к поверхности объемного углерода, содержание которого удается свести к минимуму только после прогрева при 1450 K. Таким образом из рис. 1 следует,

что полностью очистить Si и GaAs от примесей только термическим прогревом ниже температуры плавления образца не удается. Она приводит к перераспределению примесей в объеме образца или даже к их сегрегации на поверхность с последующим образованием очень прочных соединений. Поэтому нами была поставлена задача - разработать новый способ очистки поверхности Si(111) и GaAs (111).

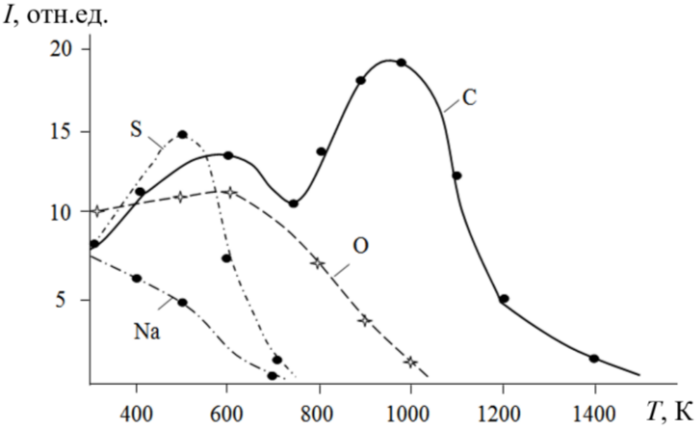


Рис.1. Зависимости интенсивности линий оже-электронов ряда примесей атомов присутствующих на поверхности Si(111) от температур нагревания в вакууме.

Данная задача нами решается созданием в приповерхностной области предварительно очищенных термическим прогревом Si (111) и GaAs (111) геттерирующего слоя путем имплантации ионов Ba^+ (либо Rb^+ или Cs^+) с энергией 0,5–1 кэВ и с высокой дозой облучения 10^{16}-10^{17}см$^{-2}$ в сверхвысоком вакууме при давлении остаточных газов 10^{-7} Па. В результате чего в приповерхностной области кристаллов создается геттерирующий слой с высокой концентрацией атомов Ba или щелочных элементов, которые являясь химически активными, образуют соединения с атомами кремния, арсенида галлия и неконтролируемых примесей (O, N, S, C и др.). Процесс геттерирования примесей становится наиболее эффективным если проводить термический прогрев GaAs при 700 К, а Si–900 К. На последнем этапе мы предлагаем удалить геттерный слой ионным травлением–распылением поверхностного геттерного слоя пучком ионов Ar^+ с энергией 1,5 кэВ, падающих под углом 15° к поверхности.

Таким образом, предлагаемый нами способ низкотемпературной вакуумно-термической очистки поверхности монокристаллов Si и GaAs, заключающийся в создание геттерного слоя проведением имплантации ионов Ba (или щелочных элементов) с низкой энергией и большой дозой облучения, прогреве образцов при температуре 900 и 700 К, соответственно и в ионном травлении поверхностного слоя позволяет не только получить чистую поверхность Si (111) и GaAs (111), но и существенно улучшить их кристаллическое совершенство.

1. Рысбаев А.С. Изменение вторично – эмиссионных свойств поверхности Si при ионной имплантации и последующем отжиге. // Радиотехника и электроника. 2001. Т. 46. № 7. С. 883-885.
2. Нормурадов М.Т., Руми Д.С., Рысбаев А.С. Сверхвысоковакуумная установка для комплексного исследования поверхности и отработки технологии получения ионно-имплантированных структур. // Изв. АН УзССР. Сер. Физ-мат. 1986. № 4. С. 70-73.

РАЗРАБОТКА АКУСТИКО-ЭМИССИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

У.Т.Ашрапов[1], И.И.Садиков[1], Ш.Махкамов[1], Б.Б.Мирзаев[1], А.Г.Естифеева[2]

[1] *Институт ядерной физики Академии наук, Ташкент, Узбекистан* info@inp.uz

[2] *АО «Гидропроект»,* 100022, *Ташкент,* Республика Узбекистан, info@gidroproekt.uz

В бетонном объекте гидротехнического сооружения (ГТС) источниками акустической эмиссии (АЭ) являются локальные области, в которых при образовании и росте трещины происходит динамическая перестройка структуры материала в виде пластической деформации и фазовых превращений с образование АЭ сигналов [1].

Целью работы является разработка, изготовление, градуировка и испытание опытного образца АЭ системы для определения трехмерных координат развивающихся дефектов и трещин в бетонных конструкциях ГТС.

В ИЯФ АН РУз была разработана и изготовлена четырехканальная АЭ система, содержащая 4 пьезодатчика акустической эмиссии (ПАЭ), системный блок с модулем счетчиков СЧМ-32, компьютер с монитором и программным обеспечением для сбора и обработки АЭ данных [2].

В ПАЭ чувствительным элементом является пьезокерамический элемент ЦТС-19 в форме диска (∅=16мм, h=8мм). Предварительный усилитель АЭ сигналов размещается непосредственно в корпусе ПАЭ выполненный на микросхеме КР544УД2. В ПАЭ усиленный АЭ сигнал по напряжению пропускается через фильтр, имеющий полосу пропускания от 45 кГц до 300 кГц, и дополнительно усиливается с помощью усилителя, собранного на микросхеме типа КР544УД2. С выхода усилителя АЭ сигнал подается на вход дискриминатора, выполненного на микросхеме КР544СА3.

Таблица 1.

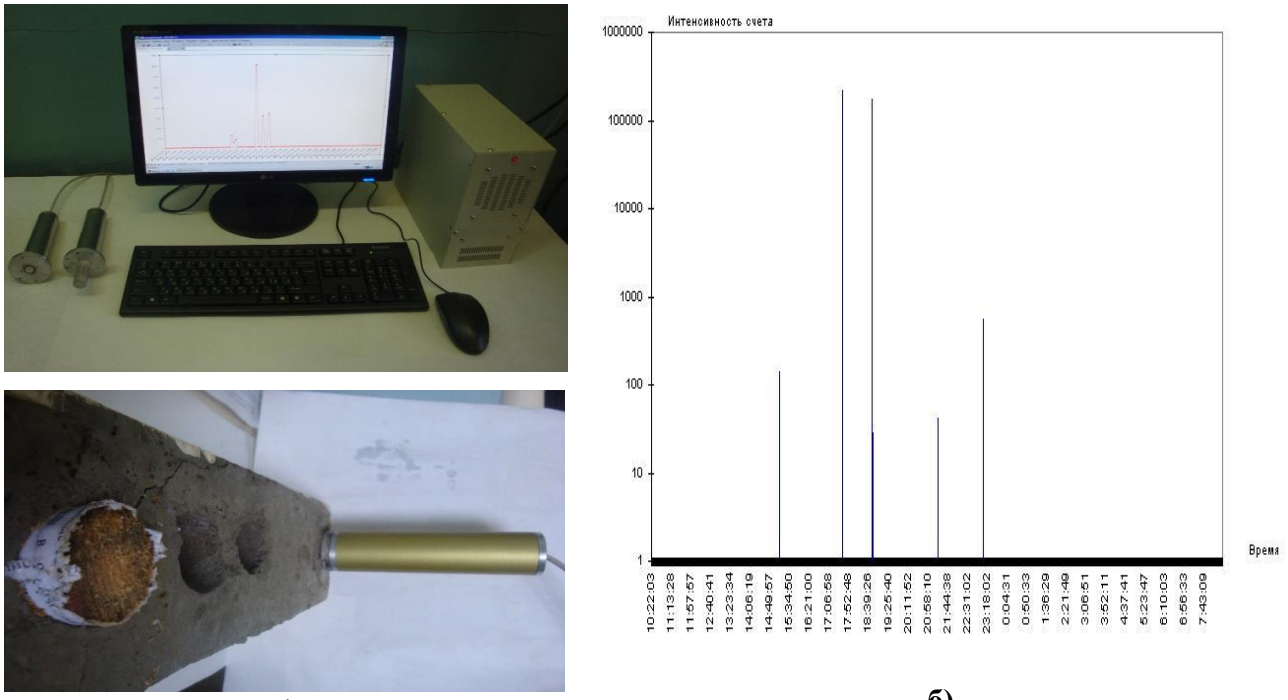
Технические характеристики усилителя ПАЭ.

№	Наименование показателя	Значение
1.	Коэффициент усиления	58 дБ
2.	Полосовой фильтр	45кГц÷300кГц
3.	Напряжение питания	±12В
4.	Потребляемый ток	+40 мА.
5.	Неравномерность АЧХ в пределах частотного диапазона, не более	±3 дБ
6.	Ослабление сигнала при расстройке на октаву относительно граничных частот, не менее	30 дБ
7.	Эффективное значение напряжения собственных шумов приведенное ко входу, не более	5 мкВ

В АЭ системе усилитель двухкаскадный имеет полосу пропускания от 100 кГц до 300 кГц с коэффициентом усиления 58 дБ. Дискриминатор имеет регулируемый уровень дискриминации 1÷200 мВ. Дискриминатор нижнего уровня имеет регулируемый порог и отсекает шумы предусилителя, а также преобразует синусоидальный сигнал в импульсный. Чувствительность пьезодатчика на частоте 190 кГц составляет $3 \cdot 10^{-6}$ В/Па. Технические характеристики усилителя ПАЭ показаны в таблице 1.

Для градуировки АЭ системы были использованы образцы кремния в форме стержней (1,0х3,0х 35)мм, которые облучали на гамма установке с источником ГИК-7-4 Co-60 при поглощенных дозах $\geq 1 \cdot 10^{8}$ Рад и получены АЭ спектры образования дефектов.

В лабораторных условиях образце бетонного стенда (а) при образовании трещины датчиком ПАЭ АЭ системы были зарегистрированы АЭ волны и на мониторе компьютера были получены АЭ спектры в режиме реального времени (б) (рис. 1).



а) **б)**

Рис.1. АЭ спектр образования трещины (а) в бетонном стенде (б).

1. S. Ranganayakulu1, B. Samrat Goud, P.Sastry, B. Ramesh Kumar. Calibration of Acoustic Emission System for Materials Characterization. //Universal Journal of Materials Science 3(4): 62-69, 2015
2. Ашрапов У.Т., Алимов Г.Р., Салямова К.Д., Естифеева А.Г. Разработка акустико-эмиссионной системы для контроля образования трещин в бетонных конструкциях гидротехнических сооружений. Сборник докладов «II Всероссийской научно-практическая конференции. Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии России». Иркутск, Россия. 5-7 июня 2019г. С.107-120.

ПРИМЕНЕНИЯ СИЛЬНОКОМПЕНСИРОВАННОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

К.С.Аюпов, С.Валиев, Х.Ф.Зикриллаев, Ш.Б.Шерғозиев
Ташкентский государственный технический университет им. Ислам Каримова, Ташкент, Узбекистан
ksayupov@gmail.com

Как известно с развитием техники и технологий на первый план выходит проблема создания чувствительных датчиков различных физических величин [1-5]. К которым относится контроль и измерения температуры с каждым годом становится особенно актуальной как в промышленном производстве, сельском хозяйстве, хранении и переработке сельскохозяйственной продукции, так и в медицине. Исходя из области применения датчика в указанных выше сферах определяется прежде всего эффективностью, удобством использования и себестоимостью быстродействий и точность измерения.

Из анализа существующих данных были выбраны в качестве компенсирующей примеси серы и никеля, так как состояние атомов этих элементов в решетке кремния достаточно стабильно в интервале T=(30-450^{0}C), а их глубокие энергетические уровни (E_{Si} = (E_c -0,5)эВ для серы и E_{Ni} = (E_v + 0,4)эВ для никеля) позволяет получит, практически полной компенсации концентрациии исходных мельких энергетических уровней.Что и дало нам получит материал Si(B,S), Si(P,Ni) с $\rho=10^3 \div 10^5$ Ом·см. Для легирование серой были использованы p –типа кремния с удельными сопротивлениями ρ=1·Ом.см., а для никель n- тип кремния ρ=40·Ом.см. Температура время диффузии выбирались такие образцы, чтобы выполнялись условие $N_s \approx 2N_p$ и $N_{Ni} = 2N_p$ где Ns и N_{Ni} N_B и N_p –концентрации электроактивных атомов серы, никеля, бора и фосфора соответственно.

Диффузии серы проводилось из газовой фазы, для исключения эррозии диффузию проводили по новой технология, который позволяют не только эррозии поверхности материала но и существенного увеличения диффузионного процесса [6], а диффузию никеля из напыленного чистого металлического слоя никеля, с толщиной около одного микрона. Как показали результаты электрических измерений, образцы с толщиной d=350 мкм были однородно легирования по всему объему.

Полученные образцы, подвергались к низкотемпературному отжигу в интервале T=(100÷450)^{0}C шагом 5^{0}C последовательно в течении t=2 часа в воздухе. После каждого этапа термоотжига образцы травилось на HF, чтобы удалить SiO_2 . Затем измерялось на установке эффекта Холла их основные электрические параметры. Установлено, что во всех материалах температура термоотжига, не было обнаружены существенного изменения их электрических

параметров, которые свидетельствуют о стабильности состояния этих примесных атомов в решетке кремния. Это очень важно не только при эксплуатации термодатчиков созданных на основе этих материалов, но и для создания низкоомных омических контактов термодатчиков при $T=(350\div400)^0C$ напылением никеля.

Для создания термодатчиков, сильнокомпенсированного образца, после напыления никеля с обоих сторон для создания омических контактов разрезались на специальной установке по размером $1x1x0,3мм^3$. Затем использованием специального сплава применялось химическое осаждение никеля контакты при температуре $T=150\text{-}200^0C$. Для защиты термодатчиков покрывалось компаундом КПТД-1 позволяющим сохранит основные параметры термодатчика.

Исследование показали что, термочувствительность термодатчиков имеет достаточно высокое чем существующих термодатчиков и увеличивается с ростом удельного сопротивления компенсированного материала. Такие высокочувствительные показывают высок ие разрешение способности так термодатчиков, позволяет регистрировать разность температур $0,05^0C$.

1. Датчики теплофизических и механических параметров. Справочник, т.1, кн.1/ Под общ.ред. Коптева Ю.Н., под ред. Багдатьева Е.Е., Гориша А.В., Малкова Я.В.- М.: ИПЖР, 1998.
2. Суханова Н.Н., Суханов В.И., Юровский А.Я. Полупроводниковые термопреобразователи с расширенным диапазоном рабочих температур. // Датчики и системы, №7, 8, 1999.С.28-30.
3. Маркелов А. Датчики температуры, первичные преобразователи. //chip news.Si-sensors, Philips. Инженерная микроэлектроника, 2003 №10.С.83.
4. Бахадирхонов М.К. Чувствительный, быстродействующий и радиационное стойкий терморезистор для дистанционного контроля температуры// Заводская лаборатория 2008г. С. 12-14
5. Валиев С.А., Насриддинов С.С., Бахадырханов М.К., Тачилин С.А Чувствительный терморезистори на основе сильнокомпенсированного кремния// Электронная обработка материалов 2007г. С.111-113.
6. Бахадырханов М.К., Исамов С.Б., Исмайлов Б.К, Без эрозионная технология легирования кремния серой и повышение концентрации ее электроактивных атомов’’ // Приборы №4 (2019)

МАСС-И ТЕРМОДЕСОРБЦИОННАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ВЕТЕРЕНАРНЫХ ПРЕПАРАТОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТАХ

С.С.Исхакова, У.Хасанов
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан, saidais@mail.ru

В конце 20-го и начале 21-го веков одна из основных проблем, с которыми сталкивается мир в результате резкого увеличения человеческого влияния на планету –это нехватка продовольствия. Для решения этой проблемы были применены масштабные интенсивные технологии в сельском хозяйстве и животноводстве. Это, в свою очередь, открыло путь для использования больших количеств пестицидов, ветеринарных препаратов и стимуляторов в сельском хозяйстве и животноводстве, которые чрезвычайно вредны для здоровья человека. Все это вместе с токсинами, образующимися при промышленной переработке пищевых продуктов, привело к катастрофе «химической безопасности», которая постепенно влияет на человеческий организм, такой как «ядерная безопасность» [1-5].

В настоящее время для обнаружения наркотиков, психотропных препаратов, пестицидов, ветеринарных препаратов и токсинов в различных образцах используется, в основном, методы от газовой хроматографии / масс-спектрометрии до жидкостной хроматографии / тандемной масс-спектрометрии. Но эти устройства отличаются чрезвычайно высокой стоимостью и востребованностью высококвалифицированных специалистов. В настоящее время они используются только в стационарных лабораторных условиях из-за их энергозатрат, потребности в чистых газах, веса и устойчивости к ударам [4-8].

Целью настоящей работы является исследование основных характеристик антистрессовых и антидепрессивных ветеринарных препаратов в различных объектах.

Масс-спектрометрические исследования проведены на статическом магнитном масс-спектрометре МИ-1201 с источником поверхностной ионизации в вакууме. ТДПИС исследования проведены с помощью спектрометра “Iskovich-2” с использованием имеющихся ветеринарных препаратов Галапави, Стресснила Промазин и Прометазин.

В термоионных масс спектрах Галапавира и Стресснила найдено, что основными линиями ионов являются m/z 358, 356, 354 и m/z 308, 310, имеющие структуру (M-2H2O-H)+ и (M-H2O-H)+. Установлено, что эти ионы, несмотря отсутствия гидрооксильных групп в молекулах препаратов, образуются в результате перегруппировочных гетерогенных реакций с участием кислорода карбнильной группы. При термодесорбционных исследованиях обнаружены сублимационные максимумы температур для Галапавира с Tsmax = 170ºC и для Стресснила Tsmax= 160°C. При этом

ионизационные эффективности препаратов составили 80 К/мол ва 90 К/мол, соответственно. В термоионных масс-спектрах антидепрессивных ветеринарных препаратов изомерных алкиламинных производных фенотиазина – Промазина и Прометазина найдено, что главными линиями ионов являются ионы с m/z 58 и m/z 72. Они являются продуктами глубокой фрагментации молекул на поверхности эмиттера и имеют структуру $(M\text{-}R)^+$, которые соответствуют ионам аммония и метил аммония. При термодесорбционных исследованиях сублимационные максимумы температур для Промазин составили Tsmax = 120ºC и для Прометазина Tsmax= 155°C. При этом ионизационные эффективности препаратов составили 130 К/мол и 100 К/мол соответственно. Полученные результаты исследований показывают высокие эффективности ионизации ветеринарных препаратов путем поверхностной ионизации, что определяет перспективу применения разрабатываемого метода при мониторинге качества продуктов животноводства и птицеводства.

Исследованиями установлено, что масс-и термодесорбционная методика позволяет проводить высокочувствительный (от 1.0 нг) анализ в различных образцах.

1. IFS Food. Международный Стандарт на пищевую продукцию. Стандарт на проведение проверок качества и безопасности пищевой продукции. Версия 6, Январь 2012 г. (Russian Version). 164 с.
2. Доценко В.А. Практическое руководство по санитарному надзору за предприятиями пищевой и перерабатывающей промышленности, общественного питания и торговли. Учебное пособие. 4-е изд., ГИОРД, 2013, 832 с.
3. Торган А.Б., Пашкова Е.С., Расолько Л.А. Качество и безопасность сельскохозяйственной продукции. БГАТУ, 2019, 152 с.
4. Е.А. Севрюкова, Мониторинг загрязнения окружающей среды, Юрайт, 2016, 397 с.
5. K. Vij, Textbook of Forensic Medicine and Toxicology. Principles and Practice, Fifth Edition, Elsevier, India, 2011, 612 p.
6. A. S. Franca, L.M.L. Nollet, Spectroscopic Methods in Food Analysis Taylor & Francis Group, London, 2018, 664 p.
7. M. Holcapek, Wm.C. Byrdwell, «Handbook of Advanced Chromatography/Mass Spectrometry Techniques», Elsevier Academic Press and AOCS Press, USA, 2017, 520 p.
8. J.H. Gross, «Mass Spectrometry, A Textbook», Third Edition, Springer Interntional Publishing AG, Switzerland, 2017, 986 p.

PREPARING THE TECHNIQUE OF THE TOTAL CURRENT SPECTROSCOPY FOR THE GROWTH OF LiF ON Si(111)

U.B. Sharopov
Physical-Technical Institute, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan

This work is devoted to the preparing the technique of the total current (TC) spectroscopy for the deposition of LiF crystals on Si(111). The measurements will be carried out on LiF films grown on a Si(111) single crystal under irradiation with slow electrons for the cases of during (in situ) and after (post) film deposition.

Before the deposition of a LiF film on a Si(111) substrate, the sample surface was cleaned by ion etching followed by annealing in a high vacuum with a short-term increase in temperature to 700 °C. Plates of p-type silicon single crystals (SiHB-7.5) with a (111) face orientation were used as substrate. Silicon wafers are squares (15x15 mm). All investigations were carried out at room temperature. To obtain lithium fluoride thin films, the physical vapor deposition method was used. The deposition was carried out at an angle of 45° relative to the normal to the substrate surface. Structurally, the evaporator was made of a quartz tube, outside of which a nichrome wire was wound, and inside it was filled with LiF salt. The deposition rate is 3÷4 Å/min for LiF. The evaporator temperature was controlled by a chromel-alumel thermocouple over a wide temperature range (20÷1000 °C).

The surface cleanliness was monitored using secondary ion mass spectrometry. The working vacuum during the research was 10^{-8} Pa. The measurements reported here were made on LiF thin films deposited onto Si(111) substrates under ultrahigh vacuum conditions from a quartz crucible. The thickness of the deposited films was estimated to be in the range 5-15 nm according to the intensity of the alkali halide molecular flow. The evaporation flow intensity was obtained in a separate experiment. The target was heated to a temperature providing 100% surface ionization of incoming alkali halide molecules. From measuring the positive alkali metal ion current we estimated the intensity of the initial molecular beam. Then from the time of deposition the film thickness was obtained.

Target current spectra were recorded in fixed time intervals directly during deposition. The film thickness for a corresponding spectrum was estimated from the time of evaporation. The primary electron current was 10^{-8} A, with energy range E_p=0÷80 eV and a half-width of the energy distribution of 0.4 eV. Irradiation and recording of the TC spectra were carried out from a single source of electrons, which makes it possible to obtain the total current spectra from the irradiated section of the film, which minimizes the experimental data error. The resulting changes in the defect concentration caused by an electron irradiation with a dose ranging from 10^{13} to 10^{15} el/cm^2 were estimated according to the evolution of the target current spectrum maximum intensity.

СЕКЦИЯ 3. ИОННО-ЛУЧЕВЫЕ И ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И МОДИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ.

SECTION 3. ION-BEAM AND PLASMA TECHNOLOGIES FOR PRODUCTION AND MODIFICATION OF MATERIALS.

ПОВЕРХНОСТНО-МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГИДРИД-АЭРОСИЛ КАК ЭФФЕКТИВНАЯ УСИЛИВАЮЩАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕР-КОМПОЗИТОВ

Д.Старокадомский[1,2], П.Кузема[1], М.Решетник[3], С.Шульга[1]
[1]Институт Химии Поверхности им.акад.А.А.Чуйко НАН Украины, г.Киев,
km80@ukr.net
[2]Институт Геохимии и Минералогии НАН, г.Киев
[3]Нац.Научно-Природоведческий Музей НАН, г.Киев

Работа демонстрирует возможности прикладной химии (в сегменте модифицирования поверхности наполнителей) для решения серьёзных практических задач по малозатратным методам усиления прочности полиэпоксидных композитов.

Пирогенный нанодисперсный кремнезём (ПНК) – эффективный загуститель и аддитив к покрытиям и полимерным композициям. В том числе эпоксидным. В ИХП им.акад.А.А.Чуйко налажено промышленное производства ПНК марки А-300 (рис.1). Модифицирование его составляет направление целого ряда научных коллективов ИХП и других НИИ.

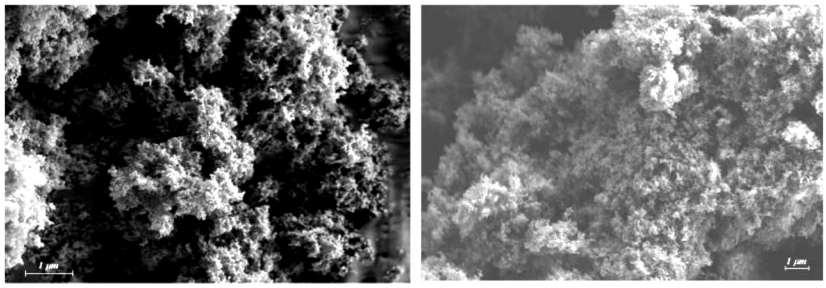


Рис.1. СЭМ нанокремнезёма А-300 (слева) и гидрид-кремнезёма SiH2 (справа).

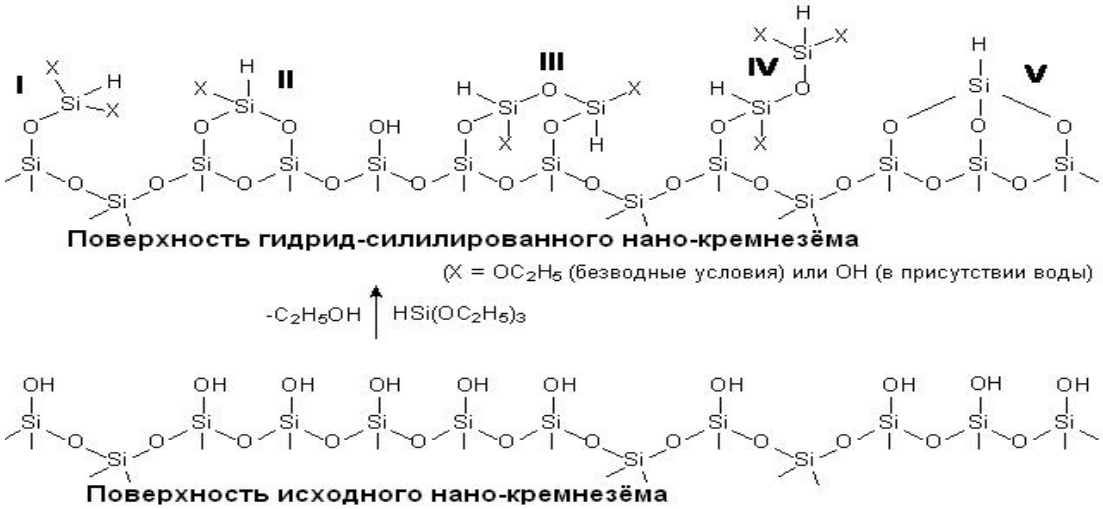


Рис.2. Схема: процесс гидрид-силилирования поверхности кремнезема

Наявность привитых SiH-групп фиксировали методом ИК-спектроскопии. ИК-спектры регистрировали с использованием спектрофотометра

ThermoNicoletNexus в интервале волновых чисел 4000-400 $см^{-1}$. Для регистрации спектров образцы кремнеземов смешивали с KBr в соотношении 1:10. Концентрация привитых кремнийгидридных групп определена спектрофотометрически (с использованием спектрофотометра СФ-46), была примерно 0,5 ммоль/г.

Таблица 1

Параметры прочности полимерных композитов.

	Прочность при изгибе, кг/мм^2 и модуль (*10^3), кгс/см^2	Адгезия к стали (отрыв), кгс\см^2	Прочность и модуль при сжатии, кгс\см^2
H	***5,7 (***Δ+-6%) и 13	**30**	**1000 и 10**
A300 2%	***8,3 (***Δ+-20%) и 18	**55**	**930 и 13**
SiH8 2%	***6,6 (***Δ+-7%) и 16	**85**	**960 и 13.4**
SiH9 2%	***11,1 (***Δ+-4%) и 15	**75**	**965 и 13.6**

Из таб.1 можно видеть, что уже набольшая добавка гидрид-кремнезёмов может приводить к заметному улучшению важных эксплуатационных свойств композита. Отметим, что и А-300 в немодифицированном виде также даёт усиление, в частности прочности при изгибе. Но модифицирование как правило позволяет расширить позитивный эффект.

Особенно ярко усиливающее действие гидрид-кремнезёма видно из графика набухания в агрессивном (для полиэпоксидов) растворителе (рис.2). Образец ненаполненного полимера практически сразу быстро набухает и распадается на фрагменты после 1 суток выдержки. Несколько дольше (до 2 суток) может продержаться образец с А-300. Зато образцы с обеими видами гидрид-кремнезёма (SiH1 и SiH2) после заметного (на 20-30%) набухания стоят в растворителе неограниченно долго (рис.2).

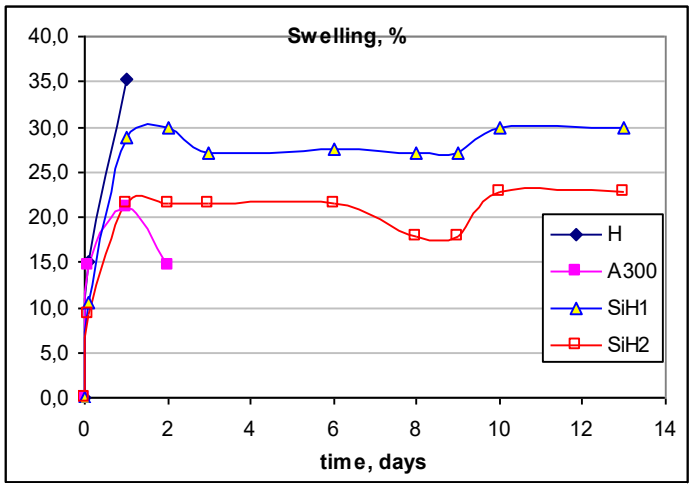


Рис.2. Степень набухания композитов в смеси ацетон: этилацетат.

Таким образом, синтезированы нанокремнезёмы с гидридным покровом, которые в количестве 2 мас% сравнительно гомогенно распределяются в эпоксидной смоле. Хорошая совместимость и распределение гидрид-кремнезёмов в эпоксиде позволяет уже в области малых добавок (2 мас%) усиливать важные прочностные свойства полимера. В частности, достигнут рост модуля упругости при сжатии и на 30-40%, при изгибе – в 1.2-1.5 раза, рост прочности при изгибе в 1.5-2 раза, адгезии к стали – в 2,5-2.8 раза.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАНА

С.А.Губин[1], М.Ш.Курбанов[2], А.В.Кудинов[1], И.В.Маклашова[1], У.М.Нуралиев[2]

[1]Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

[2]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан

Рассматривается процесс восстановления кремния Si из однородной смеси конденсированных SiO_2 (кварц), углерода C и газообразного метана CH_4 в печи при температуре от 2000 K до 4000 K и атмосферном давлении (TP-задача равновесной термодинамики).

Условия максимального выхода Si находились с использованием равновесных термодинамических расчетов в программном коде TDS [1] с применением базы данных термодинамических свойств индивидуальных веществ ИВТАНТЕРМО. Уравнение состояния конденсированных веществ: SiO_2, SiO, C – V = const. Уравнение состояния газа – идеальный газ.

Под выходом понимается отношение массы атомов кремния, содержащихся в продуктах в жидкой фазе к массе атомов кремния, содержащихся в реагентах. В расчете восстановления диоксида кремния его содержание в реагентах менялось от 50 %m до 85 %m. Оставшуюся часть системы занимали метан CH_4 и углерод C/s/. Для каждого значения %m SiO_2 содержание метана в реагентах менялось от 0,1 %m до (100 %m - (%m SiO_2 - 0,1 %m C/s/)) с шагом 5 %m.

Для каждого состава системы проведен термодинамический расчет с целью определения количества жидкого кремния в продуктах реакции. В результате расчетов построена поверхность (рисунок 1).

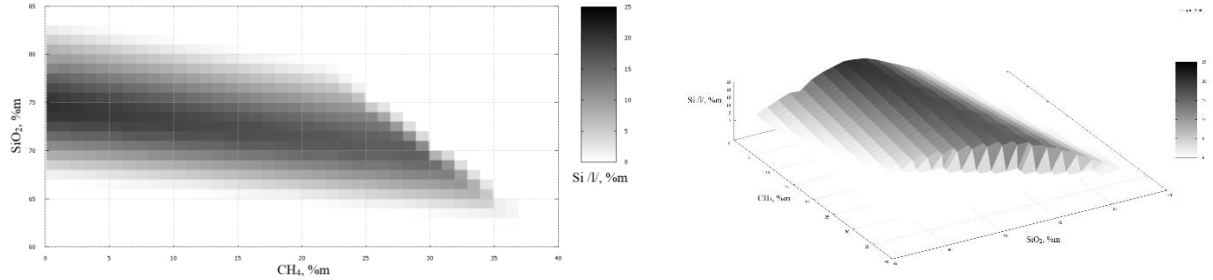


Рис.1. Зависимость выхода жидкого кремния от массового содержания метана для диапазона (60 – 85) %m SiO_2

Согласно рисунку 1, жидкий кремний образуется в диапазоне 62 – 84 % SiO_2. Расчеты показали, что замена части твердого углерода метаном целесообразна только в диапазоне (69 – 73) %m SiO_2(тв). При уменьшении количества SiO_2(тв) в реагентах выход жидкого кремния уменьшается: при 67 %m SiO_2(тв) максимум составляет 12,027, а при 66 %m уже 9,287.

1. Victorov S.B., Gubin S.A., Maklashova I.V., Revyakin I.I. 2001. Thermodynamic TDS code: Application to detonation properties of condensed explosives. Energetic Materials, Ignition, Combustion and Detonation. 32nd Int. Annual Conf. of ICT. Karlsruhe, Germany. P. 69/1 – 69/15.

AMORPHOUS SILICA PROPERTIES, SYNTHESIZED FROM SLAGS OF THE COPPER-SMELTING PRODUCTION OF ALMALYK MINING AND METALLURGICAL COMBINE

M.Sh.Kurbanov[1], S.A.Tulaganov[1], M.Ernazarov[1], L.S.Andriyko[2], A.I.Marinin[3], A.Yu.Shevchenko[3]

[1]Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan, kurbanov@iplt.uz

[2]Chuiko Institute of Surface Chemistry, Kyiv, Ukraine,

[3]National University of Food Technology, Kyiv, Ukraine

Slags from the copper-smelting production of the Almalyk Mining and Metallurgical Combine are a product of the smelting process of copper concentrates containing copper from 10 to 30%, which are obtained by beneficiation of sulfide copper-molybdenum ores. In this work, dump slags of copper production were used. According to the chemical composition, their main macrocomponents are silicon dioxide SiO_2 and $Fe_{tot.}$ with contents (in% mass.): 29.8 – 40.0 and 30.7 – 41.4, respectively. Content of other components – Al_2O_3 (up to 6.0 %), CaO (up to 2.5 %), Cu (up to 0.9 %), MgO (1.3 %), Zn (1.2 %) etc. – insignificant. Taking this into account, the development of an effective method for separating SiO_2 from the slag base is an important task, since the remaining macrocomponent, iron, can be removed by magnetic separation, and the resulting collective concentrate can be processed by methods accepted in metallurgy. The synthesis of highly dispersed particles of amorphous silica dioxide from the described above slags and the study of their main properties is an aim of this work. Thus, the dump slags usage from AMMC is targeted at developing a resource-saving technology and environmental problem solving associated with the utilization of man-made waste from mining and metallurgical industries.

For the synthesis of highly dispersed particles of amorphous silica dioxide, ammonium fluoride (NH_4F) was used, and fluorination was carried out in a specially designed reactor made of nickel alloy according to the following reaction:

$$SiO_2 + 6NH_4F = (NH_4)_2 SiF_6 + 4NH_3 + 2H_2O\,.$$

After filtration, by isolation from $(NH_4)_2SiF_6$ solution, under the ammonia water action (NH_4OH) according to the reaction

$$(NH_4)_2 SiF_6 + 4NH_4OH = SiO_2 + 6NH_4F + 2H_2O$$

a highly dispersed powder of amorphous SiO_2 with a purity of 99.96 % was obtained, that is confirmed by mass spectrometry data.

X-ray diffraction pattern of the synthesized amorphous silica dioxide powder is characterized by the presence of a wide halo in the range of 2-20 degrees, corresponding to the presence of an X-ray amorphous material in the sample.

Particle size distributions of silica dioxide samples were studied using a Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments) apparatus using a universal dip cell (ZEN1002). Suspensions of synthesized silica dioxide samples (C_{SiO2} = 1 wt.%) were prepared in deionized water using ultrasonic dispersion (Sonopuls HD 2040

homogenizer, Bandelin, 20 kHz, 80 W). It was revealed by laser correlation spectroscopy that the particle size distribution of amorphous SiO_2 in an aqueous medium is polymodal and is predominantly represented by strong agglomerates of 1300 and 5500 nm. An increase in the time of ultrasonic treatment of aqueous suspensions of silicon dioxide samples from 1 to 25 min does not significantly affect the particle size distribution nature. This indicates the formation of sufficiently strong micron-sized agglomerates, which is apparently due to the kind of the synthesis and the subsequent material processing. The effective particle diameter (D_{ef}) of the studied samples of silica dioxide depends on the time of ultrasonic treatment. During the first 10 min, there is a significant decrease in D_{ef} from 1600 to 659 nm. With a further increase in the ultrasonic treatment time, the D_{ef} value is in the range of 633-467 nm. This effect can be associated with the balancing between the processes of aggregates destruction and their formation: disaggregation ↔ aggregation. Therefore, in this case, according to the D_{ef} value, it is correct to estimate not the particles size in the suspension, but the equilibration time between the processes of destruction and the formation of aggregates (when D_{ef} stops decreasing).

IR spectroscopic study were carried out using a Specord M80 spectrophotometer (Carl Zeiss, Germany). To do this, silica dioxide samples were mixed with KBr in the ratio 1:100 and pressed into plates with a size of 8×28 mm and a weight of 20±0.5 mg. IR spectra of silica dioxide showed the characteristic bands presence of bending vibrations of *Si-O-Si* at 468 cm^{-1} (intense) and *O-Si-O* at 800 cm^{-1} (medium intensity), bands of stretching vibrations of *Si-O-Si* in the range of 1000-1200 cm^{-1}. This distinct band characterizes the reactivity of the silica. Bands at 1636, 3200-3500 cm^{-1}, referring to adsorbed water, which is associated with silanol groups by hydrogen bonds, indicate its significant content in the sample.

Thermal programmed desorption mass spectrometry (TPDMS) is one of the varieties of mass spectroscopy, characterized by high sensitivity and information content. For the test sample, the most intense release of particles is observed: *O* (m/z 16), *OH* (m/z 17), H_2O (m/z 18), *CO* (m/z 28). The presence of a large amount of molecularly and associatively adsorbed water was found in gaseous products. Desorption of adsorbed water occurs at 100°C – 150°C, and associative water at 150°C – 550°C. CO_2 emission is also observed (200-600°C) and *CO* (500-1100°C).

To analyze the structural characteristics of the obtained amorphous silica dioxide powders, low-temperature (77.4 K) nitrogen adsorption–desorption isotherms were recorded using Kelvin- 1042 ”(Costech Microanalytical) adsorption analyser. A study of the specific surface area and sorption capacity of the samples by the method of low-temperature nitrogen adsorption showed that SiO_2 samples have a maximum specific surface area – about 64 m^2/g according to *BET* and 93 m^2/g according to *Legmuir*. The total pore volume is 218 mm^3/g, including 3.7 mm^3/g micropores. The total area of micropores is 10.5 m^2/g, the non-microporous surface is 53.4 m^2/g.

Thus, the proposed method is capable of obtaining a high-purity silicon dioxide powder with a particle size distribution of up to 5.5 μm and a low specific surface area from man-made waste of mining and metallurgical industries, which meets the requirements for fillers used in the rubber industry.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ФТОРИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ АЛМАЛЫКСКОГО ГМК ДЛЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ

С.Г. Кудратов[1], М.Ш. Курбанов[2], С.А. Тулаганов[2]

[1]*Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий,*

[2]*Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им.У.А.Арифова АН РУз, s.kudratov@gmail.com*

В Институте ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз разработана опытно-промышленная установка для переработки техногенных образований горно-металлургических производств, в том числе для извлечения цветных металлов и других ценных компонентов из шлаков медеплавильного производства Алмалыкского ГМК на основе фтороаммонийной технологии. Монтажные работы разработанной опытно-промышленной установки в основном завершены и в настоящее время идут пуско-наладочные работы.

В целях подготовки проведения опытно-промышленных испытаний технологии проведены термодинамические расчеты равновесия реакций фторирования с учетом того, что наряду основных реакций взаимодействия диоксида кремния с фторидом или бифторидом аммония и образованием гексафторсиликата аммония $(NH_4)_2SiF_6$, во вращающейся наклонной печи и аппарате сублимационной очистки созданной установки имеют место следующие реакции [1]:

$$5(NH_4)_2SiF_6 + SiO_2 = 6NH_4SiF_5 + 4NH_3 + 2H_2O$$

$$SiO_2 + 4NH_4HF_2 = (NH_4)_3SiF_6F + 2H_2O + NH_3 + HF$$

$$NH_4SiF_5 + H_2O = NH_4SiOF_3 + 2HF$$

Кроме того, в расчетах принято во внимание, что при фторировании шлаков медного производства наряду с реакций взаимодействия основного компонента SiO_2 с бифторидом аммония, происходят реакции взаимодействия примесей (Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2 и т.д.) с фторирующим реагентом.

Разработано программное обеспечение для термодинамических расчетов равновесия реакций фторирования, позволяющее проводить расчеты любых возможных взаимодействий компонентов шлака, фторидов и образований при опытно-промышленных испытаниях технологии.

В работе обсуждаются полученные результаты расчетов теплоты образования реакций ΔH, изменения энергии Гиббса ΔG и на их основе - механизмы фазовых превращений гексафторсиликата аммония.

1. Dyachenko A.N., Kraydenko R.I. Technology of high purity silicon dioxide production// In: Proceedings of the 51Annual Conference of Metallurgists of CIM (COM-2012), 2012, Niagara, ON, Canada, pp. 238-248.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРУКТУРЫ «ПОЛУПРОВОДНИК-ПЛАЗМА ГАЗОВОГО РАЗРЯДА»

Ш.Б. Утамурадова, З. Хайдаров
НИИ Физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз, Узбекистан

Физические явления на контакте полупроводник – плазма газового разряда является мало изученным объектом. В свое время были изучены физические свойства тонкой газоразрядной ячейки с различными полупроводниковыми электродами. Однако полная картина физических процессов, происходящих в тонкой (проядка 40-100 мкм) газоразрядной ячейке до конца нераскрыта. В работе [1] были теоретически представлены расчеты исследований происходящих в тонкой газоразрядной ячейке с двумя плазменными контактами. В настоящей работе приводятся экспериментальные результаты исследований тонкой газоразрядной ячейки с двумя плазменными контактами с электродом из теллурид кадмия и эти результаты сопоставляются с теоретическими расчетами.

На рис.1 показаны релаксационные кривые концентрации неравновесных носителей для различных значений напряженности электрического поля (1 – $E = 5\cdot10^3$ V/sm; 2 – $E = 9\cdot10^3$ V/sm; 3 – $E = 10^4$ V/sm; 4 – $E = 5\cdot10^5$ V/sm; 5 – $E = 5\cdot10^6$ V/sm;) и оптической генерации $F = 10^{14}$ $sm^{-3}s^{-1}$, построенные по формулам (2) и (3).

Релаксационные кривые были сняты для CdTe с двумя плазменными контактами в газоразрядной ячейке, эти кривые были приведены на рис. 2 для различных значений приложенного напряжения. Напряжение равно: 1 – 2 kV; 2 – 2.7 kV; 3 – 2.9 kV; 4 – 3 kV; 5 – 3.05 kV.

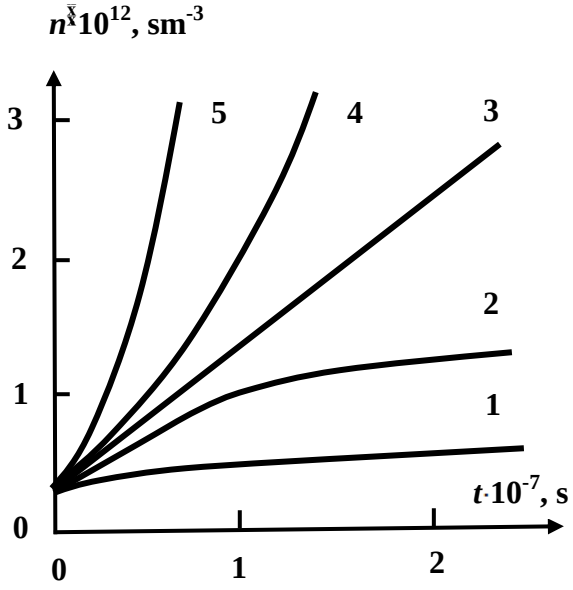


Рис.1. Кинетика неравновесной концентрации электронов при различных значениях напряженности электрического поля E.

Из теоретических расчет (рис. 1) следует, что стационарное значение концентрации неравновесных носителей n резко возрастает (кривая 5) и обращается в бесконечность при $\xi\mu E \rightarrow 1/\tau$. Из этого условия можно выяснить физический смысл коэффициента ξ. Обозначим $\lambda = 1/\xi$ – некоторая эффективная длина, характерная для возбуждающего действия плазменного потока на полупроводник. Тогда условие $\xi\mu E \rightarrow 1/\tau$ можно переписать в виде $t = \lambda/\mu E = \tau$ или $\lambda = \mu E\tau$. Наибольший эффект воздействия плазменного возбуждения имеет место в том случае, когда длина дрейфового смещения носителей в полупроводнике $L_E = \mu E\tau$ становится равной λ. Иначе говоря, когда время пролета t_{np} носителем характерной длины λ достигает времени жизни $t_{np} = \tau$ при увеличении напряженности поля. Если ввести время пролета t_{np} носителем всей длины полупроводника L ($t_{np} = L/\mu E$) то тогда, условие $\xi\mu E \rightarrow 1/\tau$ можно записать в виде $\tau = (\lambda/L)\, t_{np}$. Это условие напоминает условие эксклюзии ($\tau = t_{np}$) с тем отличием, что перед t_{np} стоит множитель λ/L – отношение характерной длины к длине образца.

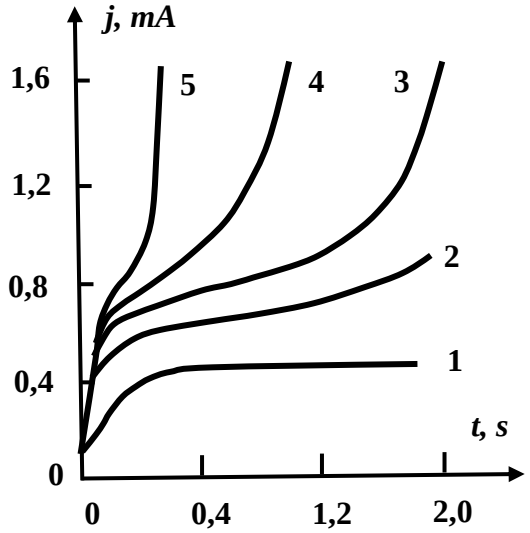


Рис.2. Кинетика фототока для различных значений приложенного напряжения на газоразрядной ячейке при постоянной интенсивности освещения (белым светом порядка $4 \cdot 10^{-3} Vt/sm^2$).

Таким образом, ξ несомненно, связано с эффективностью воздействия плазмы.

1. Далиев Х.С., Хайдаров З., Йулдашев Х.Т., Юлдашев Н.Х. Неравновесные процессы на контакте полупроводник – плазма газового разряда. Физики полупроводников и микроэлектроники, Ташкент, 2019, т. 1, в. 4, С. 22-29

ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА Mo, Pd и Pd-Ba ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ БАРИЯ И КИСЛОРОДА

С.Б.Донаев[1], Б.Е.Умирзаков[1], Г.М.Ширинов[1], Б.Д.Донаев[2]
[1]Ташкентский государственный технический университет им.И.Каримова
[2]Каршинский инженерно-экономический институт

Для получения катодов с высоким значением σ при низких температурах используются различные методы: активировка в среде различных газов (N_2, H_2 и NeH_2), легирование материалов ионами щелочных и щелочно-земельных элементов. Эффект увеличения σ будет значительно больше, если легирование проводить в атмосфере кислорода. Поэтому можно полагать, что для увеличение эмиссионной эффективности сплавных катодов необходимо получить на их поверхности нанослоев оксида бария. Это можно осуществлять последовательной имплантацией ионов Ba^+ и O_2^- в Pd или Pd-Ba.

Ранее нами всесторонне изучены электронные и оптические свойства нанопленочных систем, созданных ионной имплантацией на поверхности полупроводников и диэлектрических пленок [1, 2]. В данной работе впервые исследован состав, толщина слоя, электронная структура и эмиссионные свойства Pd-Ba, имплантировались сначала ионами Ba^+ с $E_0 \approx 1$ кэВ и затем – ионами O_2^+ с $E_0 = 1$ кэВ при дозах насыщения.

Основные вторично-эмиссионные характеристики образцов Mo и Pd, легированных ионами щелочных и щелочно-земельных элементов, приведены в работах [3]. Показано, что после легирования σ увеличивается во всей исследованной ооласти значений E_p (от 1 до 1500 эВ), $e\varphi$ уменьшается, σ значение первой критической энергии $E_P{}^1$ смещается в сторону меньших энергий. При этом увеличение σ в случае Pd оказалось значительно большим, чем в случае Mo. Было отмечено большее изменение параметров ВЭЭ, чем при легировании Mo. В табл. 1 приведены вторично-эмиссионные характеристики образцов Mo и Pd с пленкой бария с толщиной θ = 1 монослой и легированных ионами Ba^+ с E_0= 0,5 кэВ при дозе $D \geq 6 \cdot 10^{16}$ см$^{-2}$.

Таблица 1.

Значение eφ и σ_m для Mo и Pd, покрытых атомами Ba с θ=1 монослой и имплантированных ионами Ba^+ с E_0 = 0,5 кэВ при $D = 6 \cdot 10^{16}$ см$^{-2}$

Параметры	Образцы					
	Mo	Mo с пленкой Ba	$Ba^+ \rightarrow$ Mo	Pd	Pd с пленкой Ba	Ba+→ Pd
eφ	4,3	2,2	2,3	5,1	2,1	2,2
σ_m	1,4	1,95	3,2	1,75	2,65	5

Видно, что после ионной имплантации σ_{max} в случае Pd увеличивается почти в 3 раза, а в случае Mo в аналогичных условиях легирования σ_{max}

увеличивается примерно в 2,3 раза. Причину различия, по-видимому, можно объяснить характером связи внедренной смеси с атомами подложки: при имплантации ионов Ba в Pd образуются интерметаллические соединения типа Pd_mBa, а при имплантации Ba в Mo химическое соединение Mo с барием при комнатной температуре не образуется [3]. Наличие такой связи нами обнаружено и при имплантации ионов Ba^+ в Pd. Расчет концентрационных соотношений атомов примеси и подложки, а также результаты ЭОС показывают, что при высоких (не менее $6 \cdot 10^{16}$ ион·см$^{-2}$) дозах в поверхностных слоях преимущественно образуются интерметаллиды Pd_2Ba и PdBa. Известно [3], что увеличение σ при легировании материалов ионами активных металлов обусловлено уменьшением работы выхода поверхности и изменением физико-химического состояния эмитирующей области. Из сказанного следует, что образование интерметаллического соединения палладия с барием способствует более значительному увеличению вторично-эмиссионной эффективности приповерхностных слоев мишени.

Показано, что образование химической связи между атомами Ba и Pd приводит заметному увеличению концентрации валентных электронов в ионно-легированном слое, следовательно, эмиссионная эффективность в этих слоях увеличивается до 2 раза, относительно чистого Pd. В случае имплантации ионов Ba^+ в Mo не наблюдается образования химической связи между атомами Ba и Mo. Поэтому эмиссионная эффективность ионно-легированном слое увеличивается незначительно (~1,3 раза) и увеличение σ_m объясняется в основном уменьшением eφ. В процессе последовательной имплантации ионов Ba^+ и O_2^+ с $E_0 \approx 0{,}5 - 1$ кэВ на поверхности Pd (а также сплав Pd-Ba) формируется тонкий слой (θ = 5-6 монослоев) оксидов BaO и Pd-Ba-O, следовательно, значение σ_m увеличивается до 7-7,5.

1. Umirzakov B.E., Tashmukhamedova D.A., Boltaev E.U., Dzhurakhalov A.A. Obtaining of epitaxial films of metal silicides by ion implantation and molecular beam epitaxy // Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology, Volume 101, Issue 1-3, Pages 124-127, DOI: 10.1016/S0921-5107(02)00677-3
2. Umirzakov, B.E., Pugacheva, T.S., Tashatov, A.T., Tashmukhamedova, D.A. Electronic structure and optical properties of CaF2 films under low energy Ba+ ion-implantation combined with annealing // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 166, Pages 572-576, DOI: 10.1016/S0168-583X(99)01151-9
3. Вторичная электронная эмиссия и ионно-электронная эмиссия ионно-легированных образцов Mo, Pt, Pd-Ba / М.Т. Нормурадов, Г.И.Сергеев, Х.Д.Джуракулов, Б.Е.Умирзаков // Электронная техника. Сер.1, Электроника СВЧ.-1985.-Вып.1.-С.49.

ЭЛЕКТРОННАЯ И КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СИЛИЦИДОВ МЕТАЛЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

А.А.Абдувайитов, Х.Х.Болтаев, Г.А.Розиков
Ташкентский государственный технический университет
khurshid.boltaev@gmail.com

В настоящее время наноразмерные структуры и В настоящее время плёнки силицидов, полученные методами ионная имплантация, молекулярно-лучевой эпитаксии и термодиффузии, широко используются в создании МДП и ПДП структур, транзисторов с проницаемой и металлической базами, барьерных слоев и омических контактов. Поэтому, получению и изучению состава, структуры и свойств тонких плёнок силицидов, особенно $BaSi_2$, посвящено большое число работ [1].

Для создания наноразмерных структур на поверхности полупроводников часто используется метод ионной бомбардировки.

Объектами исследования являлись монокристаллические образцы Si(111). Перед ионной имплантацией кремниевые образцы очищались прогревом при вакууме $P=10^{-7}$ Па. Сначала длительно (2-3 ч) при T=1100 К и затем кратковременно при T=1400 К. Имплантация ионов Ba и Pd проводилась с энергией E_0=1-5 кэВ при дозе насыщения ($D=6\cdot10^{16}$ см$^{-2}$). Электронная структура изучалась методами ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС) и снятия зависимости I(hν), где I – интенсивность света, проходящая через образец, hν – энергия фотонов (hν=0.2-1.5 эВ).

Для исследования морфологии и структуры были подготовлены несколько партий образцов Si с поверхностной пленкой Pd с толщиной θ≈200-500 Å, подвергнутые прогреву с температурой 300, 600, 800, 1000, 1200, 1300, 1400 К, в течении t = 30 мин. Из микрофотографии поверхности Si(111) с поверхностной пленкой палладия толщиной θ≈200 Å, видно, что пленка растет неравномерно в виде трехмерных слегка ограненных островков (рис.1).

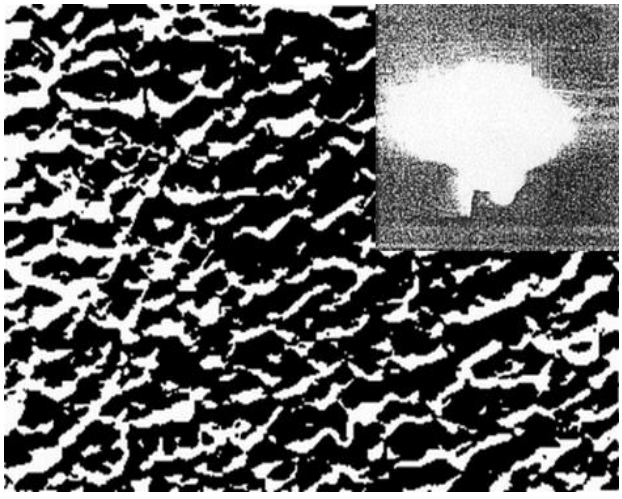


Рис.1. Микрофотография поверхности системы Pd-Si(111) с θ=200 Ǻ.

Высота неравномерности составляет ~50-100 Å, что определялось нами методом рентгеновской электронной микроскопии. При этом на дифракционной картине наблюдается большое белое пятно, характерное для аморфных материалов (вставка рис.1).

Аналогичные исследования проводились для системы $BaSi_2$/Si. На основе анализа картин ДБЭ был определен тип решетки силицидов и оценены параметры их решеток. Результаты проведенного анализа сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Тип и параметры решетки силицидов

Силициды	В данной работе		Известные данные [2-3]	
	Тип решетки	Параметры решетки, Å	Тип решетки	Параметры решетки, Å
Pd_2Si	гексагональная	a = 6,5 c = 3,45	гексагональная	a= 6,528 c= 3,437
$BaSi_2$	кубическая	a = 6,2	ромбическая	a= 8,92 b= 6,80

Исследование электронной структуры поверхности силицидных пленок проводилось с применением методов УФЭС и СУОЭ.

При комнатной температуре на границе Pd-Si формируются соединения типа Pd_3Si и Pd_2Si. Интенсивная диффузия Pd в Si через пленки Pd_2Si, Pd_3Si начинается с T≈700 К. Сплошная, однородная пленки Pd_2Si формируется при T≈1050-1100 К. Показано, что пленка Pd_2Si имеет гексагональную решетку и между атомами Pd и Si образуется преимущественно ковалентная связь.

Определены плотности электронных состоянии валентной зоны, параметры энергетических зон и значения энергии плазменных колебаний силицидных пленок.

1. Алексеев А.А., Олянич Д.А., Утас Т.В., Котляров В.Г., Зотов А.В., Саранин А.А.//ЖТФ. 2015. Т.85. вып.10. С.94-100.
2. Самсонов Г.В., Дворина Л.А., Рудь Б.М. Силициды. - М.: "Металлургия", 1979. - 271 с.
3. Зенгуил Э. Физика поверхности. Пер. с англ. - М.: Мир, 1990. - 536 с

ОТДЕЛЕНИЕ МЕДИ ИЗ ЗОЛОШЛАКОВ АНГРЕНСКОЙ ТЭС

М.Эрназаров, М.Ш.Курбанов, У.М.Нуралиев, С.А.Тулаганов
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент, Узбекистан

В Ангренском горнопромышленном районе накоплены огромные запасы отходов энергетической промышленности. Необходимость утилизации и переработки этих техногенных отходов актуальна не только с позиции охраны окружающей среды, но и с точки зрения экономической выгоды, так как эти отходы являются дешевым сырьём. Золошлаковые отходы (ЗШО) теплоэлектростанций (ТЭС) – можно отнести к техногенному минеральному сырью, которое, со временем накапливаются, а не истощается. Извлечение полезных компонентов и полная утилизация техногенных отходов позволит высвободить занимаемые ими сельскохозяйственные площади, понизить негативное воздействие на окружающую среду. Настоящая работа является новым направлением в области освоения минерально-сырьевых ресурсов металлов, в том числе редких и рассеянных металлов в Узбекистане, которое, в перспективе, может дать значительный экономический и экологический эффект.

Цель настоящей работы является отделение меди из ЗШО Ангренской ТЭС с использованием галогеноаммонийной технологии [1].

Отбор проб провели на четырех участках общей площади 74,5 га ЗШО Ангренской ТЭС. Полный анализ химического состава отобранных проб проводился в центральной лаборатории Госкомгеологии, результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты химического анализа золошлаковых отходов Ангренской ТЭС

SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	MnO	Co	Na_2O	K_2O	P_2O_5	SO_3	H_2O	ПП
57,4	0,53	15,6	9,2	3,66	1,71	0,01	3,2	0,57	1,06	0,08	0,33	0,73	6,4

Навеска золошлаков в количестве 100 гр, прошедшая стадию шихта подготовки (класса - 0,074 мм не менее 85%), смешивается с фтористым аммонием и стехиометрическим соотношением по отношению к содержанию оксида кремния и помещается в установку для возгонки гексафторосиликата аммония $(NH_4)_2SiF_6$, описанной в [2,3].

Включая печь вначале процесса выдерживают температуру печи на уровне 140-150^oC в течение 30 мин, далее поднимают температуру печи до 350-370^oC и выдерживают данную температуру в течение 40 мин. Измерение температуры осуществляют термопарой. Аппарат включал в себя систему уловителей- конденсаторов. Конденсатор для сбора $(NH_4)_2SiF_6$ был снабжен специальной перегородкой для предотвращения осыпания гексафторосиликата аммония в обескремниваемый продукт, а конденсатор для сбора был снабжен

фильтром из фторопластовой стружки. Температура в в одном конденсаторе поддерживалась на уровне 250-350^{o}C, а в другом - от комнатной до 220^{o}C.

Результаты отделения гексафторосиликата аммония из навески 100 гр. ЗШО Ангренской ТЭС представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты отделения гексафторосиликата аммония

Наименование	Номера опытов				
	1	2	3	4	5
$(NH_4)_2SiF_6$, г	98	97	97	98	97
Остаток, г	44,5	44	44,5	44	44

Как видно из таблицы 2, результаты выхода гексафторосиликата аммония ближе к теоретическим.

Остаток после отделения диоксида кремния растворяли в серной кислоте и осаждали 15% аммиачным раствором. При этом медь растворяется, а другие металлы как железо, цинк и др. осаждаются. Из раствора медь осаждали сульфидом натрия.

В таблице 3 представлены результаты определения содержание меди в исходной пробе и после отделения оксида кремния

Таблица 3

Сравнительные данные о содержании меди в исходной пробе и после отделения оксида кремния $SiO_{2,\ г/т}$

Исходная проба	После отделения SiO_2	Степень концентрирования
3,670	4,50	1,25

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют, что ЗШО Ангренской ТЭС являются бесценным источником цветных, благородных и других металлов, которые могут быть излечены с использованием предлагаемой технологии.

1. Патент РУз UZIAP 04650. Эрназаров М., Усманов Н.Н., Самадов А.У., Санакулов У.К. Способ переработка металлургических шлаков для извлечения железа.
2. Эрназаров М., Самадов А.У. Определение степени регенерации фтористого аммония // Горный Вестник Узбекистана, №4. 2016. С 133-135.
3. Б.М. Абдурахманов, М.Ш. Курбанов, С.А.Тулаганов, М. Эрназаров, Л.С. Андрийко, А.И. Маринин, А.Ю. Шевченко// Синтез высокодисперсных порошков аморфного диоксида кремния из техногенных металлургических отходов// Узбекский физический журнал, 2021, Vol.23, №1, -С.65-74.

МЕХАНИЗМ УДАЛЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИКОВ В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

А.А.Зарипов[1], У.Б.Халилов[1,2], Х.Б.Ашуров[2]

[1]Институт Ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Узбекистан, г.Ташкент, [2]PLASMANT Research Group, NANOLab Center of Excellence, University of Antwerp, Universiteitsplein Antwerp, Belgium

Диэлектрики из керамики и композитов с заранее рассчитанными свойствами качественно обрабатываются электроэрозионным методом которая, отличается от других немеханических методов экономичностью и возможностью обработки композитных материалов сложного профиля. Однако, для понимания физики процессов происходящих в межэлектродном пространстве, а также для повышения скорости обработки является важным выяснения механизма удаление материалов (MRR).

Для решения этой актуальной проблемы было разработано электроэрозионное устройство с релаксационным генератором, оборудованное со специальной следящей компенсирующей системой в виде плавающей головки и держателя демпфера. Была использована специальная форма электрода инструмента, которая в совокупности с электроэрозионной установкой повысить скорость ЭЭО на порядок.

С помощью электроэрозии в электролитах обрабатывали стеклянные пластины, характер поверхности которых сильно указывает на воздействия разрядов, которые участвуют в сложных процессах. Результаты влияния мощности на скорость удаления материала поменьше, чем влияния типа анионной группы. Изменения этой группы с Cl^- на OH^- приводит к повышению скорости удаление материала на порядок. Очевидно, что анионная группа щелочей натрия и калия, которые в условиях разряда в межэлектродном промежутке способствовала повышение интенсивности появления пузырьков вблизи катода, которые в свою очередь способствуют к появлению разрядов. Собственно, появления разрядов связано с некой пороговой интегральной плотности тока, которое условно названо критической плотности тока, величина которого сильно связано с физико-химическими свойствами электролита. А наличие электролита обеспечивает появление в разрядной системе свободных электронов при меньших напряженностях электрического поля и обеспечивает более высокую скорость удаления. Исходя из этого на образование дырок или прорезов на образцах, больше влияет не температурное воздействие плазмы, которое естественно увеличивается с повышением вкладываемой мощности, а параметры, связанные с характеристиками разряда (например, частота следования импульсов, крутизна переднего фронта, длительность разряда и т.д.).

В целом, результаты показывают, что предложенная модель охватывает основные процессы механизма удаления материалов, чем традиционные тепловые модели.

БРИКЕТИРОВАНИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ФИЗИКО-ХИМИИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

М.Ш.Курбанов, Б.Л.Оксенгендлер, С.Е.Максимов, У.М.Нуралиев
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз
Ташкент, Узбекистан
oksengendlerbl@yandex.ru

Серьезные изменения, произошедшие к началу XXI века в физике конденсированного состоящие (ФКС), привели к созданию целых новых областей науки (например, наносинергетики, нанофракталов и др.) [1]. В последнее время это стало воплощаться и в новых технологических идеях, в частности, к ним относится брикетирование [2,3].

Суть использования брикетов в технологии состоит в большой суммарной внутренней поверхности пор, на которой эффективно происходят химические превращения компонентов данной технологии. Однако обнаружение фрактальных распределений пор по размерам и особенностям периметра центральных сечений пор, причем, с попаданием размеров в нано масштаб, открыло совершенного новые возможности, обусловленые идеями нанофракталов [3]. Действительно, именно нанофрактальность приводит к существенно иной химии поверхностных состояний. Вместе с тем, особенность структуры брикетов состоит в сочетании объектов объемного и поверхностного типов (объектов 3D и 2D). Замечательным является то, что именно в нано-области не всегда ясно кто является «законодателем» по статистической связи и управлению между 2D и 3D объектами [4].

Как известно, квантовая статистика оперирует уровнем Ферми, единым для всего объекта в целом, но и сам уровень Ферми обусловлен комбинацией 2-х элементов: концентрацией и расположением электронного уровня примесей и дефектов; в выраженных объемных образцах доминируют элементы из 3D, тогда как в нано- объектах доминируют поверхностные состояния.

Наиболее принципиальным и необычным обстоятельством является дополнительная перестройка электронных уровней, чувствительных к фрактальной размерности поверхности [1,3]. Эти обстоятельства (нано масштабность, размеры пор, выраженная фрактальность экваториальных сечений пор) приводят к ситуации доминирования именно элементами 2D. В этих условиях математическое уравнение электронейтральности - формула (1), связывающая элементы 2D и 3D через уровень Ферми, может реализовать даже системы с положительной обратной связью, т.е. приводить к синергетическим явлениям.

Уточним эти соображения на простой модели. Пусть объемные и поверхностные состояния пор характеризуются параметрами $N^{в}$, $E^{в}$ и N^{s}, E^{s}, где

N^s – это количества (не концентрации) соответствующих состояний в объеме и s –на поверхности, а $E^в$ и E^s (D_f) – энергии локальных электронных состояний в объеме и на поверхности; а E^s (D_f) – означает зависимость энергии локальных поверхностей состояний от ее фрактальной размерности [3]. Уравнение электронейтральности для концентрации электронов и дырок, считая $E^в$ – донором, а E^s – акцептором, имеет вид

$$n_o + n_a = p_o + p_d \qquad (1)$$

здесь n и p концентрации электронов и дырок в соответствующих состояниях донора и акцептора.

Вводя приведенный уровень Ферми ($\mu = \frac{Ef}{KT}$), несложно получить связь μ с характерными свойствами объекта: μ (D_f,γ), где $\gamma = \frac{Ns}{Nв}$, доля состояний поверхности к состояниям в объеме.

Ясно, что с переходом в наномасштаб $\gamma \geq 1$, мы получим доминирующую роль поверхности во всех физико-химических явлениях, управляемых заселенностью поверхностных орбиталей электронами, т.е. возможность управления их реакционной способностью.

Таким образом, обсуждаемое свойство связи 2D и 3D эффектов через уровень Ферми в условиях выраженной фрактальности пор и попадания их размера в наношкалу, дает возможность проявиться в «нано- фрактально-синергетической» системе явлений временной самоорганизации, т.е., войти в систему общих преставлений «complexity».

1. Oksengendler B.L. et.al. Nanofractals: their properties and applications, in Horizons in World Physics, Nova Science Publ, NY, USA 2019, v. 298, p.1-36.
2. Kurbanov M.Sh., Abdurakhmanov B.M. Ashurov H.B. Prospects for the development of silicon production and solar energy products in Uzbekistan. Appl. Sol. Energy 2018, V 54, N2, p.85-90
3. Kurbanov M.Sh., Oksengendler B.L. Nanofractals and briquetting technology 2021, IOP (in press)
4. Ашуров Х.Б., Арустамов В.Н., Кремков М.В., Максимов С.Е, Оксенгендлер Б.Л. ДАН РУз, 2021, №4 (в печати)

ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ КАТОДА НА СКОРОСТЬ УДАЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ ДИЭЛЕКТРИКОВ

А.А.Зарипов[1], У.Б.Халилов[1,2], Х.Б.Ашуров[2]

[1]Институт Ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Узбекистан, г.Ташкент, [2]PLASMANT Research Group, NANOLab Center of Excellence, University of Antwerp, Universiteitsplein Antwerp, Belgium

Существуют отрасли, которых невозможно представить без электроэрозионной обработки например, аэрокосмическая отрасль, современная производство пресс-форм или обработка керамики и композитов, большинство которых являются диэлектриками. Как у всех методов обработки «главным» показателем является скорость удаления материала (MRR), зависимость которой от различных параметров процесса необходимо определить.

Экспериментальное электроэрозионное устройство с помощью, которой проведены эксперименты, описано в работе. В качестве среды были использованы водяные электролиты NaOH, KOH. А также применено компенсаторная и демпферная система, чтобы обеспечить оптимального условия для контакта электрода инструмента (ЭИ) и обрабатываемого образца. Из стекла следующего химического состава: (SiO_2-68,4%; CaO-8,5%; Na_2O-9,4%; K_2O-7,1%; Al_2O_3-3,9%; B_2O_3-2,7%) и техническая керамика состава: (Al_2O_3- 28%; Cr-72 %).

По ходу экспериментов рабочая часть электрода, которая опушена в электролит обострилась и становилась острым, как конус и процесс удаление материала существенно ускорился. Исходя из этих наблюдений, мы и решили использовать катод с конусным торцом, для того, чтобы сравнивать с результатами цилиндрической формы торца ЭИ. Причем катод отточили под углом 60^0. MRR от вкладываемой мощности во всех случаях имеет нарастающий характер. Определили пятикратную разницу между показателями производительности двух различных форм торца катода конусообразной и цилиндрической. Результаты показывают, что сильное повышения MRR является не только последствием выносов «лишних» продуктов эрозии, которые не участвуют в наложенных процессах ультразвукового характера из-за отбрасывания вращающимся катодом, но из-за наличия и возможности развертывания вокруг конусообразного катода парогазового слоя, который порождает кавитационного составляющего при электроэрозии диэлектриков. В итоге, возможность полноценного наложения кавитации и ультразвука на импульсные разряды при использовании катода с конусным торцом и повышает скорость удаления материала из диэлектрика в 5 раз, чем в случае цилиндрического катода.

Исходя из вышеописанных, полученные результаты подтвердили преимущество конусообразного катода под 60^0, чем у катода цилиндрической формы при обработке керамики и композитов. В общем предложенная нами форма торца катода обеспечивает повышенную скорость удаления диэлектриков, не меняя при этом никаких физико-технических параметров разряда.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО УГЛА КАНАЛИРОВАНИЯ ИОНОВ АКТИВНЫХ МЕТАЛЛОВ

З.А.Исаханов[1], Б.Е.Умирзаков[2], З.Э.Мухтаров[1], Р.М.Ёркулов[1], Ж.Ш.Содикжанов[1]

[1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан.

[2]Ташкентский государственный технический университет

При бомбардировке тонких монокристаллических пленок ионами часть ионов вследствие осевое и плоскостное каналирование, проходит через образец малой потерей энергии [1,2,3]. Каналирования в первую очередь зависить от угла падения первичного пучка на поверхность образца. При этом через образец проходит те ионы, которые падают на поверхность под углом меньше, чем критический $\psi_{кр}$. Угол $\psi_{кр}$ между траекторией частиц и осью канала, при котором еще не исчезает направляющее действие ряда атомов на ион, Линдхард [4] назвал критическим углом каналирования частицы (иона). Для экспериментальной оценки $\psi_{кр}$ можно использовать метод изучение пространственного распределение ионов, прошедших через свободные тонкие монокристаллические пленки, в зависимости от полярного угла падения пучка, а также от азимутального угла поворота образца.

В данной работе экспериментально определены критические углы каналирования ионов, прошедших через монокристаллические пленки Al. Полученные результаты сравнивались с теоретическими расчетами.

Исследования проводились сверхвысоковакуумной универсальной установке с помощью регистрации ионов прошедших через тонкие пленки кристаллов. Рабочий вакуум в камере спектрометра составляет $(3 – 8)\times10^{-9}$ Торр., а поверхность исследуемого образца очищается термическим нагревом с тыльной стороны мишени (образца). Чистота поверхности образца оценивалась по исчезновению оже-пиков углерода и кислорода в спектре оже-электронов. Угловая апертура детектирования анализатора типа Юза-Рожанского $0{,}5^0$. В экспериментах по спектроскопии использован манипулятор с пятью степенями свободы с точностью до $0{,}1^0$ и её перемещение с точностью до 0,1 mm. Источник ионов позволяло бомбардировать образец ионами с энергией от 10 до 35 keV при максимальной плотности тока 10^{-8} A/cm^2. Диаметр ионного пятна можно регулировать с помощью одиночной линзы в пределах 0,4 – 2 mm в зависимости от решаемой задачи.

Изучены пространственные распределения ионов (K^+, Na^+) прошедших через тонкие поликристаллические и монокристаллические пленки Al с толщиной от 180 до 600 Å. Энергия ионов варьировались в пределах E_0 = 10 – 30 keV. Увеличение энергии пучка первичных ионов приводит к уменьшению ширины максимумов углового распределения, что связано с уменьшением критического угла каналирования $\psi_{кр}$.

На спектре, полученной при падении ионного пучка по нормали к поверхности ($\varphi=0^0$) обнаруживается три пика, характерных для монокристаллической пленки, так называемые осевое, плоскостное и

диффузное прохождение. При $\varphi=5^0$ также обнаруживается все три пика. Однако, интенсивность пика осевого каналирования резко уменьшается, полуширина пика плоскостного каналирования увеличивается без заметной изменением интенсивности. По-видимому, уменьшение числа ионов прошедших вследствие осевого каналирования приводит к увеличению числа ионов плоскостного каналирования. При увеличении угла падения от нормали, в спектре максимум осевого каналирования практически исчезает, плоскостное каналирования имеет очень маленькую интенсивность, положение максимума беспорядочного (диффузного) прохождения смещается в сторону меньших энергий, а полуширина этого максимума увеличивается. Последнее обусловлено увеличением числа ионов, испытавших многократные соударения с атомами мишени (пленки), что приводит к росту средней потери энергии ионами при прохождении. На основе анализа спектров можно полагать, что $\psi_{кр}$ для осевого каналирования составляет $\sim5^0$, а плоскостного каналирования $\sim10^0$. Такие же результаты получены и в случае бомбардировки Al(100) ионами K^+ и Rb^+. На основе этих экспериментальных данных оценены критические углы каналирования Al(100) бомбардированные ионами Na^+, K^+, Rb^+ и сравнивались с расчетными данными выполненные согласно выражению Линхарда (табл. 1):

Таблица 1.

Критические углы каналирования ионов активных металлов через тонкие пленки Al(100) (в град.)

Ионы	[110]		[100]		[130]		[120]	
	Экс.	Теор.	Экс.	Теор.	Экс.	Теор.	Экс.	Теор.
E_0=20 кэВ								
Na^+	~8,2	8,3	~6,6	6,5	~4,6	4,4	~3,8	3,7
K^+	~9,7	9,6	~7,8	7,4	~5,8	5,6	~4,7	4,4
Rb^+	–	10,4	–	8,4	–	5,4	–	4,6
E_0=30 кэВ								
Na^+	~8,0	8,3	~7,1	6,3	~4	4,1	~3,9	3,4
K^+	~8,7	8,6	~7,7	7,5	~4,9	4,4	~4,2	3,6
Rb^+	–	9,7	–	7,4	–	5,7	–	4,2

Экспериментальные значения критических углов каналирования $\psi_{кр}$ для данного направления кристалла оценивались, исходя из полуширины максимумов угловых или пространственных распределений ионов.

1. В.П.Кощеев, Д.А.Моргун, Т.А.Панина, Изв. РАН. Серия физическая, **73** (11), 1586(2009)
2. Б.Е. Умирзаков, З.А. Исаханов, М.К. Рузибаева, З.Э. Мухтаров, А.С. Халматов, ЖТФ, **85** (4), 123 (2015).
3. Z.A. Isakhanov, Jounal of Surface Investigation X_ray, Synchrotron and Neutron, Techniques, **7** (6), 1100 (2013). DOI:10.1134/S1027451013130077
4. И. Линдхард, УФН, **99**, 246 (1969)

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И ДРУГИХ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ШЛАКОВ АЛМАЛЫКСКОГО ГМК

М.Ш.Курбанов, М.Эрназаров, С.А.Тулаганов, У.М.Нуралиев, Ж.А.Панжиев

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им. У.А. Арифова АН Республики Узбекистан, Ташкент, kurbanov@iplt.uz.

В Институте ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз на основе фтороаммонийной технологии разработана опытно-промышленная установка для переработки техногенных образований горно-металлургических производств, в том числе для извлечения цветных металлов и других ценных компонентов из шлаков медеплавильного производства Алмалыкского ГМК.
Установка предназначена для проведения опытно-промышленного испытания технологической схемы, предусматривающей обескремнивания шлаков медного производства, получения высокодисперсного аморфного диоксида кремния, извлечения железа магнитной сепарацией и получения коллективного концентрата ценных компонентов, содержащих цветных, благородных и редких металлов.

Разработанная и находящаяся в настоящее время на стадии пуско-наладки установка (см. рис.1) состоит из горизонтальной реакторной печи с регулируемым наклоном, бункеров подачи исходного сырья и реагента, смесителя сыпучих материалов, абсорвера для улавливания аммиака, кристаллизатора для регенерации фторида аммония, магнитного сепаратора извлечения железа и т.д.



Рис.1. Процесс монтажа опытно-промышленной установки

По конструкции реакторная печь состоит из двух частей: первая часть представляет собой неподвижную трубу размером 2000х200 мм с встроенным внутренним шнеком для перемещения смеси, состоящей из исходного сырья и реагента. Эта часть печи предназначена для предварительного подогрева, до 200 ^{0}C и обеспечивает фторирование шлака; вторая часть - представляет собой вращающуюся трубу размером 3000х300 мм и предназначена для сублимации гексафторсиликата аммония при 200-400 ^{0}C, образующегося в результате взаимодействия кремнезема SiO_2 шлака с фторидом аммония NH_4F:

$$SiO_2 + 6NH_4F = (NH_4)_2SiF_6 + 4NH_3 + 2H_2O.$$

Конструкция установки разработана таким образом, что обеспечивается продвижение сырья вдоль подвижной и вращающуюся частей печи в течение необходимого для полного завершения реакции времени при определенных температурах.

ПАРАМЕТРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОН ИОННО-ЛЕГИРОВАННОГО СЛОЯ ДЛЯ Si ИМЛПАНТИРОВАННОГО ИОНАМИ Ba^+

С.Б.Донаев[1], Ё.С.Эргашов[1], Г.М.Ширинов[1], Б.Д.Донаев[2]
[1]Ташкентский государственный технический университет им.И.Каримова
[2]Каршинский инженерно-экономический институт

Имплантация ионов различных элементов с низкой энергией ($E_0 \leq 5$ кэВ) в твердые тела приводит к резкому изменению структуры и свойств их приповерхностных слоев.

В частности, в [1] показано, что в зависимости от дозы облучения и температуры последующего отжига в поверхностной области Si образуются наноразмерные фазы и пленки силицидов металлов. При этом наибольшее изменение наблюдалось при дозе $D=6\cdot10^{16}$ $см^{-2}$. Последняя называется дозой насыщения $D_{нас.}$, так как дальнейшее ее увеличение не приводит к заметному изменению состояния и свойств поверхностной области полупроводников. В случае Si, легированного ионами активных металлов с дозой насыщения, после прогрева формируется пленка типа $MeSi_2$, толщина которой зависит от энергии ионов. Между пленкой $MeSi_2$ и Si образуется переходной слой.

В настоящее время хорошо изучены состав, структура и свойства нанопленок силицидов металлов. Однако их изменения на различных глубинах переходного слоя силицид-кремний практический не исследованы. Поэтому настоящая работа посвящена изучению зонной структуры на поверхности и фиксированных глубинах приповерхностных слоев Si, имплантированного ионами Ba^+ с энергией $E_0=0,5$ кэВ при дозе насыщения.

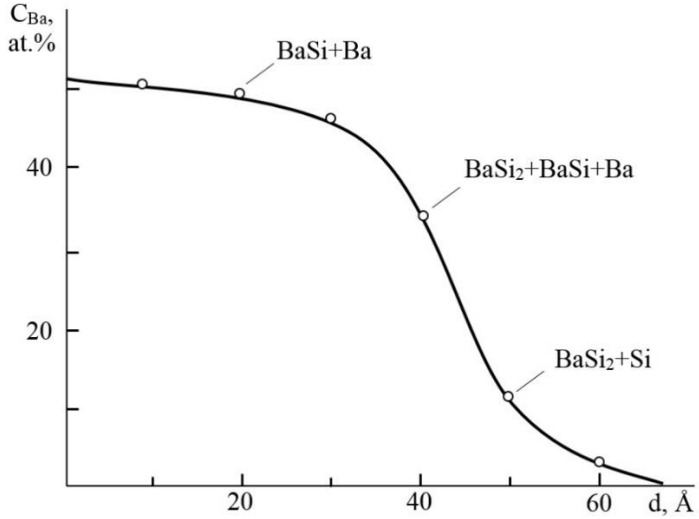


Рис.1. Профили распределения (а) атомов Ba по глубине для Si, легированного ионами Ba^+ с $E_0=0,5$ кэВ при $D = 6\cdot10^{16}$ $см^{-2}$

На рис.1 профиль распределения атомов Ba по глубине для p-тип Si(111), имплантированного ионами Ba^+ с $E_0=0,5$ кэВ при $D = 8\cdot10^{16}$ $см^{-2}$. Видно, что поверхностная концентрация Ba составляет ~45-50 ат.%. Кривая $C_{Ba}(d)$ имеет

ступенчатую форму: до глубины 25-30Å C_{Ba} практически не меняется, в интервале d ≈ 30-50 Å резко уменьшается, затем монотонно уменьшается до 0 при d ≈ 80 Å. Результаты ОЭС показали, что в приповерхностном слое толщиной d≈25-30 Å в основном образуется силицид типа BaSi с некоторым избытком атомов Ba (~10-15 ат.%). В переходном слое (d ≈ 30-80 Å) формируется нестехиометрический силицид бария типа Ba_xSi_y с избытком атомов Ba (в интервале d≈30-40 Å) и Si (при d≥40 Å). Предполагаемый тип химической связи Si+Ba для некоторых глубин указаны на рис.1.

В таблице приведены тип химической связи Si+Ba, положения потолка валентной зоны E_v, положения уровня Ферми E_F и и положения дно зоны проводимости E_c относительно уровня вакуума E_B, значения ширины запрещенной зоны E_g для некоторых фиксированных глубин приведены в таблице.

Таблица 1.

Состав и зонно-энергетические параметры для различных фиксированных глубин Si, имплантированных ионами Ba с E = 0,5 кэВ.

d, Å	**E_F, эВ**	**E_v, эВ**	**E_c, эВ**	**E_g, эВ**	**Состав**
25	2,3	3,1	2,3	0,8	BaSi+Ba
40	3,2	3,8	2,9	0,8	BaSi+$BaSi_2$+Ba
60	3,6	4,3	3,2	0,9	$BaSi_2$+Si
80	4,3	4,6	3,5	1,1	Si
Чистый Si (111)	4,5	4,8	3,7	1,1	Si

Из таблицы видно, что уровень ферми E_F на глубинах d ≥ 80 Å, где отсутствуют атомы Ba, расположен на ~0,3 эВ выше потолка валентной зоны E_v. При приближении к поверхности, т.е. с ростом концентрации бария, положение уровня Ферми смещается в сторону дна зоны проводимостиv E_c и при $d \leq 25$ Å, где концентрация бария ~50 ат.%, он располагается в нижней части зоны проводимости.

Установлено, что ионная имплантация Ba^+ в Si приводит к изменению параметров энергетических зон и плотности состояния электронов валентной зоны, к увеличению квантового выхода фотоэлектронов кремния. Наблюдаемые изменения обусловлены как образованием химических связей между атомами Ba и Si, так и возникновением новых электронных состоянии в запрещенной зоне из-за наличия несвязанных атомов бария.

1. Umirzakov B.E., Tashmukhamedova D.A., Boltaev E.U., Dzhurakhalov A.A. Obtaining of epitaxial films of metal silicides by ion implantation and molecular beam epitaxy // Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology, Volume 101, Issue 1-3, Pages 124-127, DOI: 10.1016/S0921-5107(02)00677-3

КОМПЛЕКСНЫЙ ПРОЦЕСС ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЯ ИОНАМИ ПЛАЗМЫ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА И ПЛАЗМЕННОГО ВАКУУМНО-ДУГОВОГО ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ.

В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, И.Х. Худайкулов, Б.Р. Кахрамонов
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, АН РУз, Ташкент, Узбекистан

Процесс очистки поверхности изделия ионами плазмы тлеющего разряда и последующего нанесения покрытий плазменного вакуумно-дуговым осаждением реализуется в едином цикле при давление остаточной среды в камере 10^{-1}-10^{-3} Па. Время осаждения покрытий 25-30мин. Напряжение высоковольтного разряда варьировалось в пределах 300-1000В, а низковольтного вакуумного дугового разряда 20 -24В, при токе разряда 20 - 24В. На основании полученных результатов получена зависимость тока от напряжения тлеющего разряда в процессе очистки ионами плазмы на электродах разрядной системы представлено на рисунке 1.

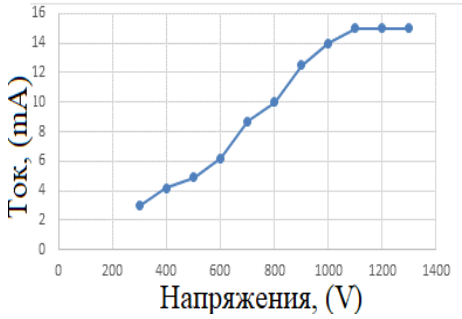
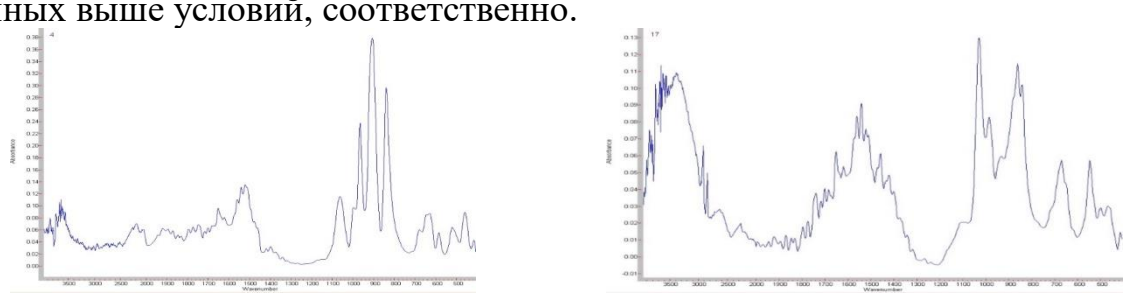


Рис.1. Зависимость тока и напряжения (ВАХ) при очистке поверхности материала ионами плазмы тлеющего разряда.

Как видно из полученного графика при увеличении напряжения на электродах разрядной системы реализациии тлеющего разряда ток разряда увеличиваетя, что указывает на прямую зависимочсть интенсивности ионной бомбардировки и как следствие процесса очистки от напряжения на электродах. При увеличении интенсивности ионной бомбардировки обрабатываемой поверхности с ростом тока разряда её эффективность возрастает и как следствие время процесса очистки необходимое для этого уменьшается. На рисунках 2-3 представлены ИК-спектры поверхности изделия, полученные для указанных выше условий, соответственно.



а б

Рис.2. ИК-спектр поверхности изделия, а- до проведения процесса очистки, б- после проведения предварительной очистки

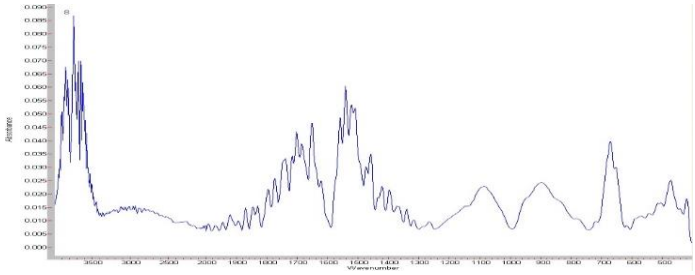
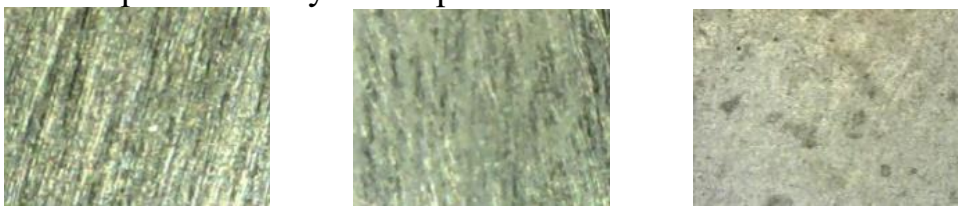


Рис.3. ИК-спектр поверхности изделия, полученный после проведения процедуры очистки тлеющим разрядом

Из анализа полученных спектров видно, что на поверхности изделия присутствует целый ряд различных загрязнений. Согласно литературным данным можно предположить, что полосы поглощения в области 3400см$^{-1}$, 1400см$^{-1}$ и 400-600см$^{-1}$ характерны для Fe_2O_3, полосы поглощения в области 3200см$^{-1}$, 2900см$^{-1}$ и 1300-1500см$^{-1}$ характерны для масел минеральных, полосы поглощения в области 1600см$^{-1}$ характерны для ароматических углеводородов, полосы поглощения в области 1500см$^{-1}$ характерны для вызелина, а полосы поглощения в области 800-1000см$^{-1}$ характерны для парафина. Анализ интенсивности соответствующих пиков, приведённых выше ИК спектров, позволяет оценить эффективность каждого этапа очистки поверхности изделия. Следует отметить, что степень очистки присутствующих видов загрязнений различна. Так, если степень очистки для загрязнений, соответствующих частотам поглощения в области 1300-1500см$^{-1}$, увеличилась в два раза, то степень очистки для загрязнений, соответствующих частотам поглощения в области 800-1000см$^{-1}$, увеличилась в девятнадцать раз. При этом при этом интенсивность ионной бомбардировки и как следствие процесса очистки обрабатываемой поверхности возрастает, что сокращает время процесса очистки [1].

На рисунке 4 представлены образы полученные в процессе комплексной воздейвии на обрабатываемую поверхность.



а б с

Рис.4. Образец, очищенный ионами плазмы тлеющего разряда (сталь 3) с нанесённым покрытием титана. а-исходная поверхность образца, б-поверхность образца очищенная ионами плазмы тлеющего разряда в- образец, очищенный ионами плазмы тлеющего разряда (сталь 3) с нанесённым покрытием титана.

1. V. N Arustamov, R.Kh. Ashurov, V.M. Rotchtein, Kh.B. Ashurov, I.Kh. Khudaykulov «Cleaning the surface of products with glow discharge plasma» Journal of Physics: Conference Series 1686 (2020) 012013 IOP Publishing doi:10.1088/17426596/1686/1/012013

СЕКЦИЯ 4. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ.

SECTION 4. NEW TECHNOLOGIES AND MATERIALS FOR SOLAR POWER AND ELECTRONICS.

МИКРОСТРУКТУРА ТОНКИХ ПЛЕНОК Cu_2SnS_3, ПОЛУЧЕННЫХ СУЛЬФУРИЗАЦИЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ

В.Ф.Гременок[1], С.Х.Сулейманов[2], Н.А.Кулагина[2]

[1]ГО "Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению", Республика Беларусь, gremenok@physics.by

[2]Институт материаловедения НПО «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан, sultan.suleimanov@gmail.com

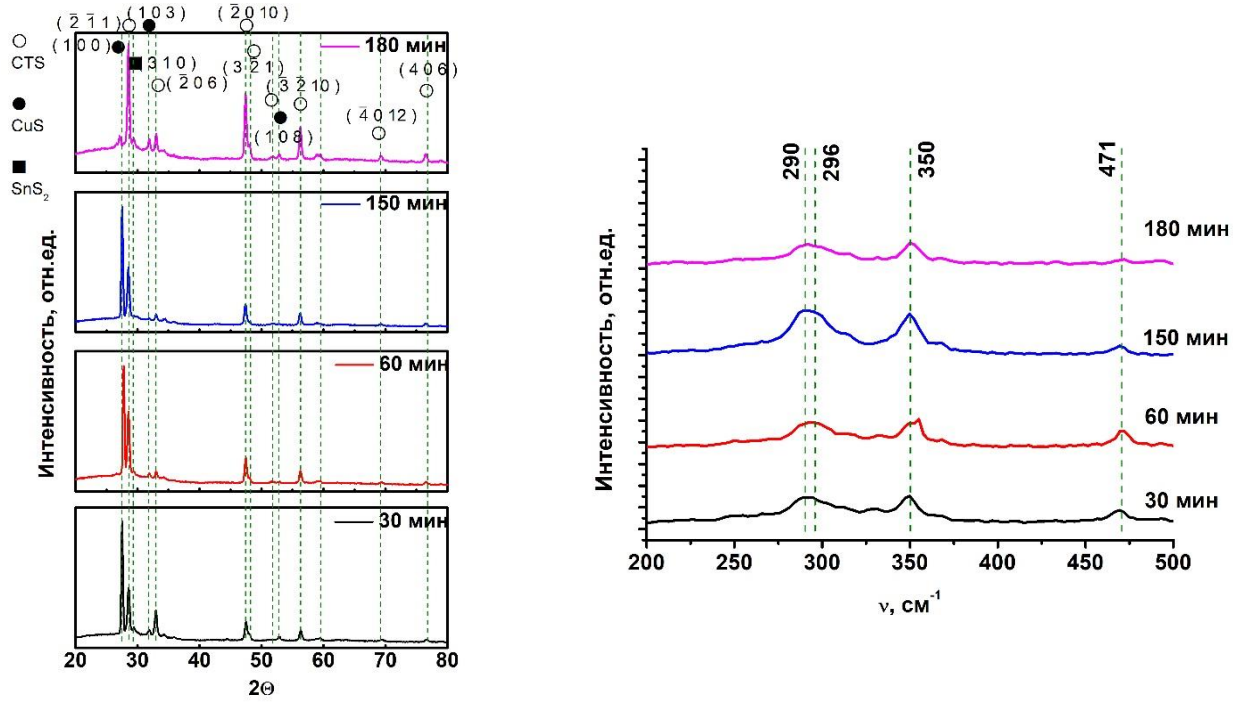
Современные тенденции формирования тонкопленочных солнечных элементов (ТСЭ) направлены на создание структур из наименьшего количества нетоксичных и широко распространенных элементов. Тройное соединение Cu_2SnS_3 (в иностранной литературе – CTS) рассматривается как один из перспективных кандидатов для использования в качестве поглощающего слоя, поскольку обладает высокой химической стабильностью, p-типом проводимости, значениями ширины запрещенной зоны (0.9 – 1.4 эВ) и высоким коэффициентом поглощения (~10^5 $см^{-1}$) в видимом и близком инфракрасном диапазонах спектра [1 – 4]. Теоретически возможная эффективность преобразования ТСЭ с Cu_2SnS_3 поглощающим слоем составляет 30% [5]. Проблемы зависимости микроструктурных характеристик пленок Cu_2SnS_3 от режимов синтеза требуют детального изучения с целью получения материала с заданными свойствами.

В данной работе приведены результаты исследования микроструктуры пленок Cu_2SnS_3, полученных магнетронным напылением металлических слоев Cu/Sn/Cu с последующей сульфуризацией в атмосфере (N_2+S_2) при 450°C в течение 30-180 минут.

На рис. 1 (а) изображены рентгенограммы полученных CTS пленок. Рентгенограммы пленок CTS свидетельствуют об их поликристаллической природе. Рефлексы наблюдаются при 2θ = 28,5°, 33,0°, 47,4°, 48,1°, 56,3°, 69,2° и 76,5° с соответствующими индексами Миллера, что свидетельствует о кристаллизации CTS в моноклинной сингонии [4]. Дифракционные максимумы при 2θ = 27,5°,31,9° и 52,9°соответствуют фазам CuS и SnS_2.

Рассчитаны структурные параметры (межплоскостное расстояние (d), параметры ячейки (*a, b, c, β*), область когерентного рассеяния (*L*), плотность дислокаций (*δ*), внутренняя деформация решетки (*ε*) были рассчитаны по известным формулам. Параметры ячейки *b* и *c* увеличиваются, а угол *β* уменьшается с увеличением времени сульфуризации, т.к. происходит уширение элементарной ячейки за счет обогащения пленки серой. Кроме того, наблюдается уменьшение деформации ячейки и постепенное приближение значений *a, b, c, β* к данным, опубликованными в Crystallography Open Database JCPDF 27-0198 (6,64 Å, 11,51 Å, 19,93 Å и 109,75°, соответственно). С целью корректного определения фазового состава тонких пленок применялась конфокальная спектроскопия комбинационного рассеяния света (КРС). На

рисунке 1(б) представлены КРС-спектры пленок CTS в зависимости от условий синтеза.



(а) (б)

Рис.1. Рентгенограммы (а) и КРС-спектры (б) пленок CTS.

В полученных спектрах доминируют 4 пика: 290, 296, 350 и 471 $см^{-1}$. Колебательная мода при 471 $см^{-1}$ соответствует бинарной фазе CuS [6]. С увеличением времени сульфиризации наблюдается уменьшение интенсивности данного пика, а значит, обеднение полученных пленок бинарной фазой. Пики при 290 $см^{-1}$ и 350 $см^{-1}$ соответствуют моноклинной фазе CTS, а 296 $см^{-1}$ – Cu_3SnS_4 [4, 6], что согласуется с данными рентгеноструктурного анализа.

Исследование реализовано при финансовой поддержке резервного фонда Президента Республики Беларусь (2021 год).

1. V. Robles, J.F. Trigo, J. Herrero. J. Alloys Compd. 642 (2015) 40.
2. T. Srinivasa Reddy, R. Amiruddin, M.C. Santhosh Kumar. Sol. Energ. Mat. Sol. Cells 143 (2015) 128.
3. Y. Cui, Z. Zhang, X. Du, et. al. J. Alloys Compd. 658 (2016) 1020.
4. V.R. M. Reddy, T.R.R. Kotte, C. Park et al. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 76 (2019) 39.
5. D. Avellaneda, M.T.S. Nair, P.K. Nair. J. Electrochem. Soc. 157 (2010) D346.
6. N.R. Mathews, M. Pal, F. Paraguay-Delgado, L. Huerta. J Mater Sci: Mater Electron 24 (2013) 4060.

MICROSTRUCTURE OF SILICON OBTAINED BY RE-MELTING IN A SOLAR FURNACE

L.O.Olimov*, I.I.Anarboyev
Andijan Machine Building institute Andijan, Uzbekistan,
O.Lut@mail.ru

There are a number of methods for obtaining polycrystalline silicon, of which the method of obtaining by heating in a solar oven [1] is the most attractive for polycrystalline semiconductors. In work [1], we experimentally proved and patented that the method makes it possible to obtain thermoelectric material based on granular silicon. This work is devoted to solving this problem for polycrystalline silicon obtained by heating in a solar oven using powder technology.

In fig. 1 is a photomicrograph of a silicon sample heated by a sunbeam. As can be seen from the figure, the silicon sample has a polycrystalline structure with a rough grain surface of 10–20 μm. In fig. 2 also shows the X-ray spectral characteristics of impurity atoms. Crystal granularity was found to consist of Si atoms, and its surface was composed of roughness. The results obtained can be explained as follows.

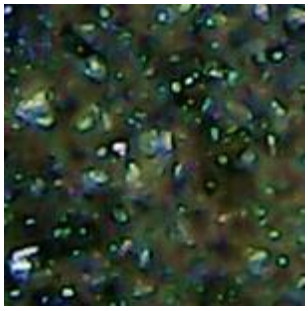


Fig.1. Microphotography of samples (250x250 μm).

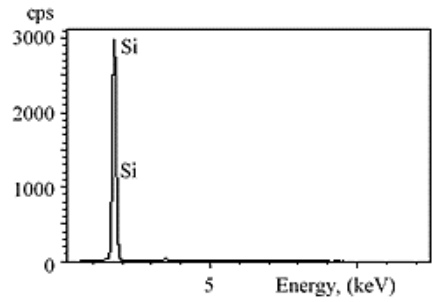


Fig.2. X-ray spectral characteristics of primary atoms of the image.

In our case, the samples were obtained by powder technology [1,2,3]. According to this method, silicon particles are weighed in any desired medium, for example, oxygen, and using powder technology until they reach a powdery state with a size of up to 1 micrometer. The prepared silicon particles are washed with 70% ethyl alcohol, and a mixture of particles is formed. The prepared mixture is poured into a container based on heat-resistant, for example, ceramic material. In this case, the mixture is pressed with little force and heated by the sun's rays. The heating of the mount with the help of sunlight is carried out in a solar furnace. The following parameters must be taken into account during the heating process: the thickness of the granular mixture on the base of the heat-resistant ceramic material should not exceed 2,5÷3 mm; for silicon, the temperature should be 600÷1250°C [1].

It can be seen from the X-ray spectral characteristics of impurity atoms (Fig. 2) that grains 10–20 μm in size consist of Si atoms. In the work [2], we proposed a structural model of silicon particles, obtained by us on the basis of powder technology. According to the model, the heating process is observed in silicon

particles obtained by powder technology. The heating process does not occur uniformly across the particle crystal size. That is, there is a temperature difference from the particle core to the surface (T3≤T2≤T1, Fig. 3). In this case, the structure of the silicon particle can be divided into 3 parts according to the temperature difference (Fig. 3). The rough surface (1) has a relatively high temperature, the core of the particle (3) and consists of a separating region (2).

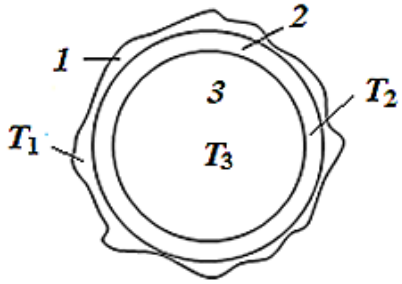


Fig.3. Simplified scheme of silicon particle; 1 - Rough surface area with uneven atomic structure, 3 - granule core, 2 - the area separating the core (1) from the field, T3≤T2≤T1 is the temperature difference in the corresponding areas.

The surface area temperature is high, it consists of empty or broken bonds, and the energy of defect formation in the field also increases. In contrast to the nucleus, in the region close to the surface, the initial region of atomic decay of the crystal lattice appears (region 2). The atomic structure of this field is radically different from the atomic structure of fields 1 and 3. In this case, the reactivity of the surface of a silicon particle increases from the center to the surface in accordance with its atomic structure [2]. According to the model, the reactivity of a small-sized particle nucleus is close to the reactivity of areas 1 and 2 of a large-sized particle. In this case, particles of small size accumulate around large particles. The result is areas of a certain size of granularity and between grain boundaries.

In our opinion, polycrystalline silicon heated by sunlight does not create a barrier effect of traps localized in the grain boundary regions from polycrystalline silicon obtained by other methods. This can expand the possibilities of creating highly efficient semiconductor devices, solar cells, thermoelectric materials for micro- and nanoelectronics, photovoltaics.

These results can be used to create highly efficient p – n structures based on polycrystalline semiconductors, as well as to explain the electronic properties of the inter grain boundaries.

1. Patent UZ № FAP 01593 "Method of preparation of thermoelectric material". Olimov L.O., Anarboev I.I., Mamirov A., Omonboev F.L., Omonboeva M.L.
2. Olimov L.O. (2016). “The grain boundaries of polycrystalline silicon: microwaves, charge states and p-n-junction”. Autoreferaty of doctoral dissertation.
3. Olimov L.O, Abdurakhmanov B.M, Teshaboev A. (2014). Influence of alkali metal atoms on transport of charge carriers in the between grain boundaries of polycrystalline silicon. “Material Science”, №1, PP.79-82.

РОЛЬ РАЗМЕРНОСТИ НАНООБЬЕКТОВ В ПРОЦЕССАХ МНОЖЕСТВЕННОЙ ЭКСИТОННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ 3-ГО ПОКОЛЕНИЯ

М.Б. Марасулов[1], Н.Н Тураева[2], Б.Л. Оксенгендлер[1,3]
[1]*Институт химии и физики полимеров АН РУз, Ташкент,*
oksengendlerbl@yandex.ru
[2]*Университет Вебстера, Сент-Луис, США,*
nigoraturaeva82@webster.edu
[3]*Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АН РУз, Ташкент, oksengendlerbl@yandex.ru*

Эффект множественной экситонной генерации (МЭГ), открытый 20 лет назад (Нозик, Шаллер Климов, 2002-2004) при воздействии энергичных фотонов на квантовые точки, за прошедшие годы приподнес немало сюрпризов и стал одной из основных надежд фотовольтаики 3-го поколения. Одним из последних достижений МЭГ стало обнаружения роста эффективности преобразования света при уменьшении топологической размерности D_T адсорбера. "Простые" соображения для трактовки этого наблюдения оказалось недостаточными, так как энергия экситона возрастает с падением D_T в наномасштабной цепочке: КТ- плоскость- квантовый стержень [1-3]. Это и стало мотивом наших теоретических исследований.

Топологическая размерность. Согласно теории множественного рождения (Ферми 1950 г.) вероятность генерации электронно-дырочных пар определяется произведением 2х сомножителей: $W_N \sim \varphi\chi$, где φ – отражает статистическую комбинаторную вероятность рождения N дырочных пар, а χ связано с величиной кинетической энергией уносимой этими парами [4]. Несложно показать, что $d\chi/dD_T < 0$ и $d\varphi/dD_T > 0$. Поэтому только общее условие: $d/dD_T(\varphi\chi) < 0$ выделяет область параметров, от которых зависит эффективность МЭГ. В определенном диапазоне оценки показывают, что это условие реализуемо при реальных параметрах.

Фрактальная размерность. Другой интересный вопрос касается формы поверхности КТ, определяемой фрактальной размерностью поверхности. В предположении реализации акта множественной генерации через эффект Фано, нами было показано [5], что эффективность этого процесса зависит от расположения поверхностных состояний КТ в запрещённой зоне на поверхности. Было выявлено, что эффект Фано тем эффективнее, чем залегание автоионизационного состояния ближе к дну зоны проводимости. Сам же характер залегания связан с выпуклостью или вогнутостью поверхности КТ, а значит с ее фрактальной размерностью D_F. Можно полагать, что на этой основе можно найти объяснение избыточной множественности, которая завышает истинную величину W_N.

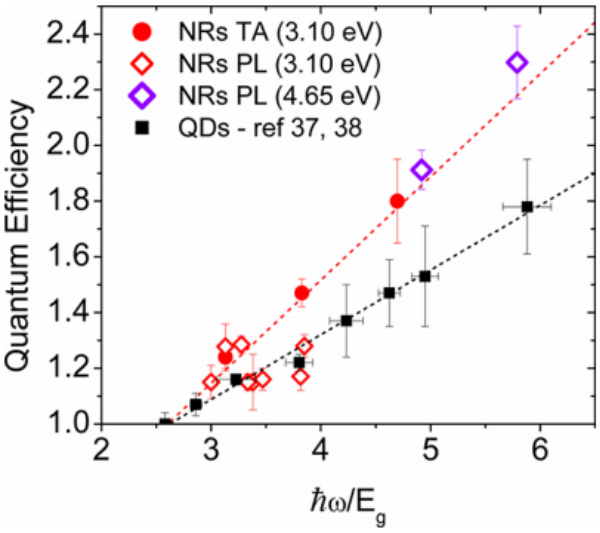


Рис.1. Квантовая эффективность умножения носителей, измеренная для серии наностержней PbSe с различными диаметрами и соотношением сторон, нанесенная на график как функция нормированной энергии фотонов ($\hbar\omega$ / E_g); измерения проводились с использованием фемтосекундного ПП (переходное поглощение) с возбуждением 3,1 эВ (красные сплошные кружки), нестационарной ФЛ (фотолюминесценция) с возбуждением 3,1 эВ (красные незакрашенные ромбы) и 4,65 эВ (фиолетовые незакрашенные ромбы). Результаты NR сравниваются с литературными значениями для квантовых точек PbSe (черные сплошные квадраты).

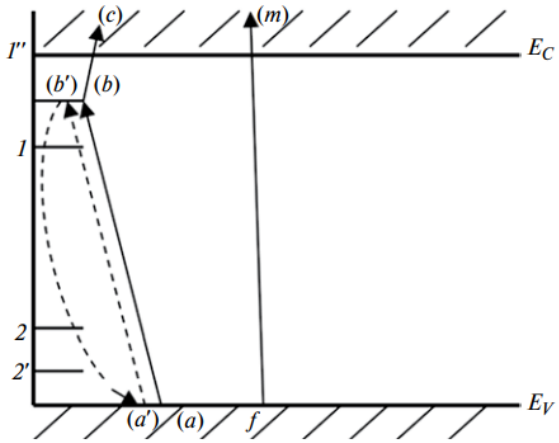


Рис.2. Схема электронных переходов через таммовские состояния при резонансе Фано: 1, 2 – таммовские состояния гладкой поверхности; 1′, 2 ′ – таммовские состояния фрактальной поверхности. Переходы: (f) → (m) – прямой; (a) → (b) → (c) и (a′) →→ (b′) → (a′) – через резонансный двухэлектронный уровень.

1. Matthew C. Beard. Multiple Exciton Generation in Semiconductor Quantum Dots. J.Phys Chem Letters, 2011,2,1282-1288
2. Padilha, L. at all (2013). Aspect Ratio Dependence of Auger Recombination and Carrier Multiplication in PbSe Nanorods. Nano Letters, 13(3), 1092–1099.
3. James McClain Multiple Exciton Generation in Graphene Nanostructures. J Phys. Chem. C 2010, 114, 14332–14338
4. Оксенгендлер Б.Л., Тураева Н.Н., Марасулов М.Б., Уралов И.З. Статистика, синергетика и механизм эффекта множественной фотогенерации экситонов в квантовых точках: фундаментальные и прикладные аспекты. Гелиотехника, 2012, №3, стр.6-12.
5. Оксенгендлер Б.Л., Никифоров В.Н., Марасулов М.Б. Роль резонанса Фано в эффекте множественной экситонной генерации в квантовых точках. Письма в Журнал Технической Физики, 2016, т.42, №4, стр.60-67.

ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТИ ПЛЕНОК Sb_XSe_Y ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ХМПО ОТ ОТДЕЛЬНОСТИ ИСТОЧНИКА ЭЛЕМЕНТОВ Sb И Se ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Т.М.Разыков, К.М.Кучкаров, Б.А.Эргашев, Р.Р.Хуррамов, М.Махмудов, Д.З.Исаков, С.Р.Жумабоев

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз, Узбекистан, Ташкент, k.kuchkarov@mail.ru

На сегодняшний день исследователи мира уделяют особое внимание применению слоев Sb_2Se_3 в качестве поглощающего слоя для солнечных элементов. Это обусловлено тем, что физические свойства (p-тип проводимость, запрещенная зона E_g=1,01÷1,2 эВ, высокий коэффициент поглащения $\alpha > 10^5 см^{-1}$, низкая температура плавления и высокое парциальное давление) этих материалов очень близки к свойствам $Cu(In,Ga)(Se,S)_2$ [1]. Кроме того, элементы входящие в эти материалы имеют относительно низкую стоимость (распространенность в природе), стабильность при внешних воздействиях и нетоксичность. Это даст возможность изготовить экологически чистые и эффективные солнечные модули, а также откроют пути их широкого изготовления в промышленном масштабе.

В настоящее время эффективность тонкопленочных солнечных элементов на основе Sb_2Se_3 составляет 3÷9% [1]. Эти тонкопленочные солнечные элементы (СЭ), подобно солнечным элементам на основе CdTe и Cu(In,Ga)Se, имеют очень низкую эффективность для использования в широком промышленном масштабе.

Эффективность солнечного элемента на основе Sb_2Se_3 сильно зависит от физических свойств базового слоя. На сегодняшний день для получения базового слоя в солнечных элементах применяются безвакуумные, высоковакуумные и низковакуумные методы [2]. Однако, электропроводимость пленок Sb_2Se_3 полученных этими методами очень низкая~ $10^{-8} \div 10^{-6}$ $(Ом•см)^{-1}$. Увеличение электропроводимости базового слоя Sb_2Se_3 даст возможность повышения эффективности данного солнечного элемента.

В данной работе были исследованы электропроводимости тонких пленок Sb_xSe_y различного состава, полученных методом химически молекулярно-пучкового осаждения (ХМПО) при температуре подложки 500°С.

Получение пленок Sb_xSe_y методом ХМПО подробно описано в работе [3]. В качестве исходного вещества, были использованы элементы Sb и Se полупроводниковой чистоты (99,999%), которые испарялись в потоке водорода при атмосферном давлении. Температурный интервал испарения материалов Sb и Se для выращивания пленок находился в пределах 800°С - 900°С для Sb, а для Se 400°С - 500°С соответственно.

Полученные результаты приведены в таблице 1. Как видно из таблицы 1, с увеличением соотношения парциального давления элементов Sb/Se в диапазонах x=0,3 ÷ 0,66 электропроводимость ($\sim 10^{-5}$ $(Ом•см)^{-1}$) пленок Sb_xSe_y почти не изменилась. Было наблюдено резкое увеличение проводимости с 10^{-5} $(Ом \cdot см)^{-1}$ при $Sb/Se \geq 0,66$ до 10^2 $(Ом \cdot см)^{-1}$ при Sb/Se = 0,9, и она почти не меняется до тех пор, пока Sb/Se = 1,22. Более того, установлено изменение типа проводимости

носителей заряда в зависимости от соотношения Sb/Se. Образцы имели p-тип проводимости в диапазоне составов 0,3≤Sb/Se ≤ 0,7, а при 0,8≤Sb/Se ≤1,22 n-тип. В то время была обнаружена инверсия типа проводимости при Sb/Se = 0,7, что соответствует стехиометрическому составу Sb_2Se_3.

Таблица 1

Тип проводимости, электропроводимости и энергии активации образцов, полученных при различных соотношениях Sb/Se.

Sb/Se	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1,22
Тип проводимости	p	p	p	n	n	n
Электропроводимость $(Ом•см)^{-1}$, при 300К	$3,8•10^{-5}$	$4,38•10^{-5}$	7,1	36	$2•10^{2}$	$1•10^{2}$
Энергия активации (мВ)	230; 140	230; 140	~3	~3	~3	~3

Для объяснения изменения электропроводимости полученных образцов в зависимости от соотношения элементов Sb/Se были изучены температурные зависимости электропроводимости. Из этих зависимостей найдены энергии активации образцов различного состава. Энергия активации пленки составляет около 230 мэВ для высокотемпературной области и 140 мэВ для низкотемпературной области. В то время, образцы полученные при Sb/Se = 0,7; 0.8 и 0.9 имели вырожденный полупроводник (уровень Ферми расположен на краю зоны проводимости) с энергией активации ~ 3 мэВ (таблица 1). Энергии активации Ea = 230 мэВ и 140 мэВ соответствуют «дефекту 2» и «дефекту 1», соответственно, описанные в работе [4]. Высказывается предположение, что в образцах с высоким содержанием селена преобладающими дефектами являются вакансия сурьмы V_{Sb} и антиструктурный дефект Se_{Sb}. В то время как для образцов с высоким содержанием сурьмы преобладающими дефектами являются вакансия селена V_{Se} и межузельная сурьма Sb_i.

1. T. Razykov, A. Mavlonov, Fazal Raziqa, Jiantuo Gana, Jakapan Chantanac, Yu Kawanoc, Takahito Nishimurad, Haoming Weie, Andriy Zakutayev, Takashi Minemotoc, Xiaotao Zua , Sean Lig , Liang Qiaoa. A review of Sb2Se3 photovoltaic absorber materials and thin-film solar cells. Solar Energy, v. 201, pp.227-246.;
2. X.M. Wang, R.F. Tang, Y.W. Yin, H.X. Ju, S.A. Li, C.F. Zhu, T. Chen, Interfacial engineering for high efficiency solution processed Sb_2S_3 solar cells, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 189 (2019) 5–10.;X. Liu, J. Chen, M. Luo, M. Leng, Z. Xia, Y. Zhou, S. Qin, D.J. Xue, L. Lv, H. Huang, D. Niu, J. Tang, Thermal evaporation and characterization of Sb_2S_3 thin film for substrate Sb_2Se_3/CdS solar cells, ACS Appl. Mater. Interfaces 6 (2014) 10687–10695.
3. Razykov T. M. Chemical molecular beam deposition of II-VI binary and ternary compound films in gas flow. Applied Surface Science, 1991, v.48/49, N1, p.p.89-92.
4. Xiaobo Hu, Jiahua Tao, Guoen Weng, et.al. *Investigation of electrically-active defects in Sb_2Se_3 thin-film solar cells with up to 5.91% efficiency via admittance spectroscopy*, Sol. Energy Mater. and Sol. Cells 186 (2018) 324–329

ВРЕМЯ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТОНКОПЛЕНОЧНОМ СОЛНЕЧНОМ ЭЛЕМЕНТЕ НА ОСНОВЕ CIGS В ДЛИННОВОЛНОВОЙ ЧАСТИ СПЕКТРА ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

Р.Р.Кабулов[1,2], С.Ю.Герасименко[1], Ф.А.Акбаров[2,3]
[1]*Физико-технический институт АН РУз.,100084, Ташкент,*
[2]*Международный институт солнечной энергии,Ташкент,*
[3]*Ташкентский государственный технический университет,Ташкент.*
krr1982@bk.ru

Одним из важных кинетических параметров определяющих коэффициент преобразования солнечной энергии солнечных элементов (СЭ) является время жизни (τ) неосновных фотогенерированных носителей заряда (Δn). В реальных солнечных элементах вследствии сложности структуры, который состоит из токосъемных контактов, прозрачно-проводящего слоя, буферного слоя и фотоактивного слоя, τ Δn зависит от длины волны падающего на структуру электромагнитного излучения и величины сопротивления нагрузки ($R_н$). Для определения τ Δn исследуются релаксационные характеристики СЭ, таких как, затухание величины фототока (J_{ph}), при освещении импульсов света прямоугольной формы, что дает возможность оценить величину τ для данного Δn, установить механизм фотогенерации неравновесных фотогенерированных носителей заряда и процессы их рекомбинации. В случае воздействия на СЭ только импульса светового излучения величина фототока зависит от концентрации фотогенерированных носителей заряда – Δn [1]. Δn после прекращения воздействия светом определяются соотношением (1) [1]:

$$\frac{d\Delta n}{dt} = \frac{\Delta n}{\tau} \qquad (1),$$

где, τ – время жизни фотогенерированных носителей заряда. Решение уравнения (1) имеет вид (2):

$$\Delta n = \Delta n(o) * \exp(t/\tau) \qquad (2),$$

$\Delta n(o)$- стационарное максимальное значение фотогенерированных носителей заряда. Для экспериментального определения τ необходимо построить временную зависимость величины фототока в логарифмическом масштабе $\ln(J_{ph})$ от (t), где наклон полученной прямой даст величину τ для Δn фотоактивной части фоточувствительной структуры.

Настоящая работа посвящена исследованиям влияния монохроматического излучения длинноволнового спектра поглощения (λ_1=0,63 нм, hv≈1,97 эВ и λ_2=0,80 нм, hv≈1,55 эВ и) и величины сопротивления внешней нагрузки ($R_н$) на τ Δn СЭ с фоточувствительной областью из поликристаллического слоя диселенида меди индия и галлия - $Cu(In,Ga)Se_2$ (CIGS, E_g = 1.30 эВ, T = 300 К). Так как, тонкопленочные солнечные элементы из CIGS широко используются при создании фотоэлектрических станций, и занимают 4% рынка фотовольтаических устройств, эти исследования являются очень востребованными [2].

Для проведения исследований были изготовлены CIGS СЭ со структурой n-ZnO/n-CdS/p-CIGS-Mo-стекло [2]. На рис.1 представлены экспериментальные результаты зависимости τ Δn от $R_н$, исследованные в структуре, при освещении монохроматическим излучением красного и инфра красного спектра.

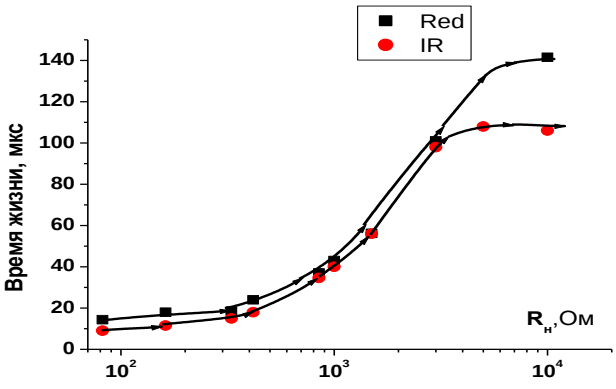


Рис.1. Зависимости времени жизни Δn от $R_н$ в CdS-CIGS структурном СЭ, при освещении монохроматическим электромагнитным излучением с λ ≈ 630 нм (красный) и λ ≈ 800 нм (инфра красный).

Из рис.1. следует, что τ Δn в исследованном диапазоне $R_н$, в CIGS СЭ имеет более высокие значения при освещении светом с λ ≈ 630 нм, чем при λ ≈ 800 нм. Это связано с тем, что свет с λ ≈ 630 нм (hv ≈ 1,97 эВ), поглощается в области объемного заряда и в фронтальной квазинейтральной части слоя *p*-CIGS, которая является относительно малодефектной по отношению к границе с Mo. В случае λ ≈ 800 нм, кванты поглощаются в квазинейтральной части слоя *p*-CIGS вплоть до тыльного Mo контакта,где в результате разнице постоянной кристаллической решетки контактирующих материалов образуются дислокации несоответствия и образуются рекомбинационные центры, которые уменьшают τ [3]. Наблюдаемое увеличение τ с $R_н$ связано с тем, что ВАХ имеет прямое направление, в результате чего в *p*-CIGS инжектируются основные носители заряда, и они нейтрализуют те дефектные состояния, которые являются рекомбинационными центрами для фотогенерированных электронов (Δn), что должно привести к росту τ Δn.

1. S.M.Sze & Kwok K.Ng. Physics of Semiconductor Devices.John Willey and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007, p.763.
2. R.R.Kobulov, N.A.Matchanov, O.K. Ataboev, F.A. Akbarov. Solar Cells Based on Cu(In, Ga)Se_2 Thin-Film Layers. Applied Solar Energy. 2019. Vol. 55. No 2. pp. 83-90.
3. A.Yu. Leiderman, M.M. Kashaev. “Lifetime specifics of nonequilibrum carriers in photoelectric cells based on gallium arsenide obtained via the Czochralski method”. *Applied Solar Energy*, vol. 49, No. 4, pp. 244-247, 2013.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОМПОНЕНТОВ, ПРИСУТСТВУЮЩИХ В ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА МОНОСИЛАНА

В.М. Ротштейн, Р.Х. Ашуров
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Мирзо Улугбекский р-н, ул. Дўрмон йўли, 33, 100125, Ташкент, Узбекистан
e-mail vladimir.rotshteyn@gmail.com

Уникальная моносилановая технология получения поликристаллического кремния, разработанная в Институте ионно-плазменных и лазерных технологий им.У.А.Арифова АН РУз [1-3], позволила реализовать возможность получения кремния с наноразмерными структурами. Наличие моносилана высокой чистоты, получение которого обеспечивает данная технология, даёт возможность в ходе протекания ионно-плазменных процессов получить кремний с наноразмерными структурами. При этом очевидна перспектива дальнейшего использования получаемого материала для разработки эффективных преобразователей солнечной энергии.

Процесс синтеза моносилана, протекающий в рамках силановой технологии получения поликристаллического кремния, представляет собой целый ряд химических реакций, подробно описанных в [1-3].

Совершенно очевидно, что качество конечного продукта технологического процесса непосредственно связано с качественными характеристиками исходных и промежуточных продуктов химических реакций, протекающих в данном технологическом процессе, а именно этанола, триэтоксисилана (TES) и тетраэтоксисилана (TEOS).

В частности, с учетом того, что реакция кремния с этанолом весьма чувствительна к наличию воды, вызывающей снижение скорости реакции, или к полному ее прекращению за счет блокировки активных центров, находящихся на поверхности кремния, к содержанию воды в этаноле предъявляются жесткие требования.

В свою очередь, в отношении промежуточных продуктов, TES и TEOS, очень важное значение придается как их количественным, так и качественным характеристикам, учитывая огромное негативное влияние наличия примесей на конечный результат всего технологического процесса.

Качественные и количественные исследования исходных и промежуточных продуктов проводились нами с использованием хромато-масс-спектрометра фирмы Agilent MSD 5975C – GC 7890A (MSD-GC).

Для реализации процесса измерения хромато-масс-спектров соответствующих продуктов химических реакций, разрабатывались Методы, учитывающие индивидуальные характеристики исследуемого продукта [4].

В качестве примера, в настоящей работе представлены типичные результаты, полученные в процессе исследований TES.

На рис.1 представлена хроматограмма по полному ионному току образца, содержащего TES. Масс-спектр TES, соответствующий хроматограмме на рис.1, показан на рис.2.

Данные количественного анализа образца, содержащего TES, полученного в технологическом процессе синтеза моносилана, приведены в таблице 1, а соответствующего библиотечного поиска - в таблице 2.

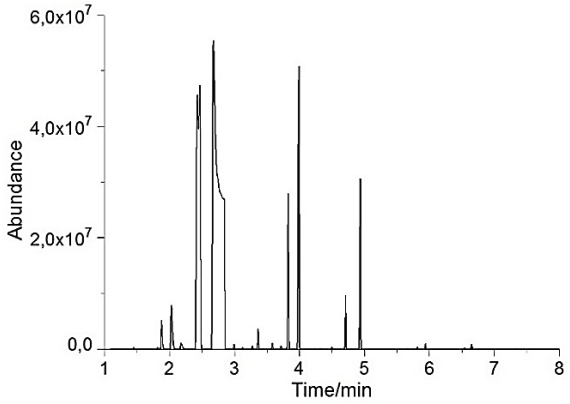


Рис.1. Хроматограмма TES

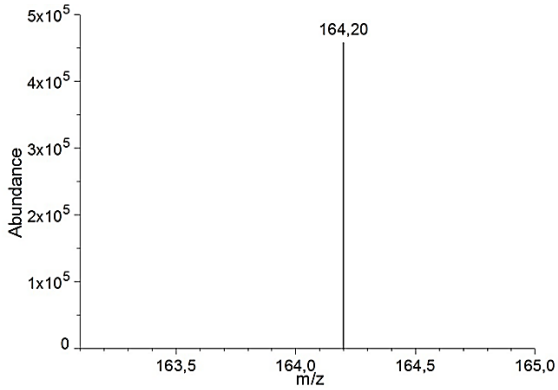


Рис.2. Масс-спектр TES

Таблица 1.

Peak #	R.T. min	Peak height	corr.area	corr.% max	% of total
8	2.679	55199813	3893429891	100.00%	54.874%

Таблица 2.

pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
8	2.679	54.87	C:\Database\W9N11.L Silane, triethoxyethyl $$ 15 (Silane)$$ Triethoxysilfne	93381	000998-30-1	97

Исследования количественного содержания и качества этанола и TEOS проводились по аналогичной схеме аналитических исследований, с использованием специально разработанных Методов, учитывающие индивидуальные характеристики исследуемых продуктов.

Исследования, проведенные с использованием хромато-масс-спектрометра фирмы Agilent MSD 5975C–GC 7890A, полностью обеспечили контроль за качеством исходных и промежуточных продуктов химических реакций, протекающих в процессе реализации технологии синтеза моносилана. Благодаря наличию такого аналитического контроля реализована возможность оптимизации параметров всего технологического процесса, что обеспечило повышение содержания TES в соответствующих образцах и уменьшение выхода TEOS, не участвующего в процессе синтеза моносилана.

1. US9278864 (B2) Патент США. A method for preparing monosilane by using trialkoxysilane Авторы: Kh. Ashurov, V. Rotshteyn, et al.Pub. Date: 08.03.2016
2. JP 6014771 (B2), Патент Японии Pub. Date: 2016.10.25. A method for preparing monosilane by using trialkoxysilane. Авторы: Kh. Ashurov; V. Rotshteyn; et al.
3. EP2754664 (B1). Европейский патент, Pub. Date: 28.12.2016, Bulletin 2016/52. Method for preparing trialkoxysilane. Авторы: Kh. Ashurov V. Rotshteyn; et al.
4. В.М. Ротштейн, Х.Б. Ашуров, Р.Х. Ашуров //Комплексные исследования качества компонентов, присутствующих в технологии синтеза моносилана, с помощью аналитических приборов // Uzbek Journal of Physics, 2020, Vol.22 (№5), P. 314-324, DOI: https://doi.Org/10.52304/.v22i5.197

ELECTRICAL PROPERTIES OF SILICON OBTAINED BY RE-MELTING IN A SOLAR FURNACE

L.O. Olimov, I.I. Anarboyev
Andijan Machine-Building Institute Andijan, Uzbekistan,
O.Lut@mail.ru

It has been reliably established that the physical properties of polycrystalline silicon, which appear under certain conditions, depend on the area of the grain boundary of its volume. For example, localized traps or segregated impurity atoms in the grain boundary regions create a barrier effect that leads to shunting of the pn junction [1-6], and this simultaneously leads to a deterioration in the efficiency of semiconductor devices or solar cells. In this regard, one of the important tasks is the study of technologies for the development of polycrystalline semiconductor materials and the study of physical processes associated with grain boundary regions. This work is devoted to solving this problem for polycrystalline silicon obtained by heating in a solar oven using powder technology.

Silicon samples heated in sunlight were selected for the study [6]. For the study of specific resistance (ρ) is carried out using modernized four-axis and Van der Pau methods [4, 5].

It is known that the electrophysical properties of polycrystalline semiconductors are explained by charge transfer processes in the between grain boundary areas [1-6]. In fig.1 illustrates the temperature dependence of the ρ. To compare the results obtained, we will use the results presented in [3]. The dependence of ρ on the temperature change can be conditionally divided into *a-b, b-c,* and *c-d.*

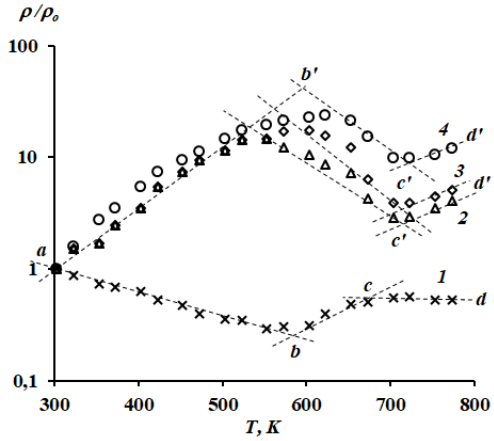


Fig.1. Temperature dependence of resistance.

In polycrystalline semiconductors, localized traps in the inter grain boundary area create a barrier effect. It also depends on the change in the height ρ of the potential barrier (φ) during capture and charge emission in localized traps. According to the Setto model, the following expression can be written for ρ [1, 2]:

$$\rho = \frac{k}{q\langle a\rangle A^* T} exp\left(\frac{q\varphi}{kT}\right) \quad (1)$$

here, q – electronic charge, k – Boltzmann constant, ⟨a⟩ – grain size, A* – Richardson's efficiency constant, T – temperature, φ – is the height of the potential barrier in the between grain boundary area.

It is known that φ depends on the amount of charges trapped in localized traps (Q_i):

$$\varphi = \frac{Q_i^2}{8\varepsilon\varepsilon_o q N_G} \quad (2)$$

where is the N_G – concentration of electrically active doped impurities, ε and ε_o are the relative dielectric constant of the medium and the absolute dielectric constant of the vacuum, respectively.

(2) shows that the increase in charges (Q_i) trapped in localized traps leads to an increase in φ, which in turn leads to an increase in ρ (case a – b ', lines 2, 3, 4). However, the sample prepared by heating with sunlight ρ (line 1) [3, 4] is radically different from the results given in the study (lines 2,3,4). That is, at T≤600 K ρ decreases and then increases, at T≥700 K it stably changes (line 1).

The sample prepared by heating with sunlight (line 1) confirms the observations given by the change in temperature ρ. In our opinion, at T≤600 K, the concentration of charge carriers increases due to an increase in the concentration of ionized impurity atoms, which, in turn, leads to a decrease in ρ (case a-b, line 1). At T~600÷700, the decrease in the free path of the charge carriers as a result of thermal oscillations of the crystal lattice leads to an increase in ρ (case b-c, line 1). At T≥700 K, a constant change in ρ (c–d condition, line 1) may be due to the appearance of new recombination centers specific to localized traps.

These results can be used to create highly efficient p – n structures based on polycrystalline semiconductors, as well as to explain the electronic properties of the inter grain boundaries.

1. Harbek G. 1989 (eds) Polycrystalline semiconductors. Physical properties and applications: (Moscow, Russia).
2. L. Kazmerskii. 1983 (eds) Thin Polycrystalline and Amorphous Films. Physics and Applications. (Moscow, Russia).
3. Olimov L.O. 2016 (eds) "The grain boundaries of polycrystalline silicon: microwaves, charge states and p-n-junction". Autoreferaty of doctoral dissertation. (Uzbekistan)
4. Olimov, L.O. 2010 Model of the grain boundary in p-n structures based on polycrystalline semiconductors. *J. Applied Solar Energy*, **46** 118.
5. Abdurakhmanov, B.M., Olimov, L.O., Saidov, M.S. 2008 Electrophysical properties of solar polycrystalline silicon and its n^+-p structures at elevated temperatures. *J. Applied Solar Energy* **44** 46.
6. Olimov L.O., Anarboev I.I., Mamirov A., Omonboev F.L., Omonboeva M.L. 2021 (eds) Patent UZ № FAP 01593 "Method of preparation of thermoelectric material".

ДЕФЕКТЫ СТРУКТУРЫ И ТЕПЛОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ПЛЁНКАХ Si-Ge:Ti/Si, ПОЛУЧЕННЫХ ГАЗОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИЕЙ

Ш.К.Кучканов[1], Х.Б.Ашуров[1], Б.М.Абдурахманов[1], М.М.Адилов[1], С.Е.Максимов[1], С.Ж.Ниматов[1,2]

[1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан; Sher.kurbonov@inbox.ru

[2]Ташкентский государственный технический университет имени И.А. Каримова, Ташкент, Узбекистан

В настоящее время в мире уделяется огромное внимание изучению путей создания эффективных возобновляемых источников энергии, наиболее употребляемым материалом для производства которых является кремний. Значительный интерес в этой связи представляет описанный в [1] тепловольтаическимй эффект, заключающийся в возникновении аномально высоких термо-эдс и генерации носителей заряда у нагреваемых образцов поликристаллического кремния, содержащих высокую концентрацию дефектов. В работе [2] представлены результаты исследования тепловольтаического эффекта в полученных вакуумным термическим осаждением кремниевых плёночных p-n структурах, необлучённых и после γ-облучения с дозой 10^9 рад. Показано, что при нагреве на данных плёночных структурах возникает темновое напряжение холостого хода U_{xx} и происходит эффективная генерации носителей, причём плотность тока короткого замыкания $I_{кз}$ в образце после облучения возрастает примерно на порядок. Сделан вывод об определяющей роли в возникновении тепловольтаического эффекта в кремниевых плёнках дефектов собственной структуры.

Для проверки предположения о роли структурных дефектов в процессах генерации эдс и токов нами было проведено исследование легированных титаном кремний-германиевых плёнок Si-Ge:Ti/Si, осаждённых на кремниевых подложках. Структуры Si-Ge/Si были получены газофазной эпитаксией в условиях, аналогичных [3], в системе $SiCl_4$-$GeCl_4$-$TiCl_4$-H_2 на Si подложках марок КДБ-10 и КДБ-40 соответственно, с ориентацией (111) и (100). Далее были измерены токи и напряжения, генерируемые при нагреве данных плёнок в диапазоне температур 300-900 К. Исследования проводились при размещении макроскопических титановых контактов на свободной поверхности плёнки Si-Ge:Ti и на тыльной стороне Si подложки, со стороны которой осуществлялся нагрев. Затем было проведено облучение структур γ-квантами Co^{60} до набора дозы 10^9рад, после чего повторно измерены параметры этих плёнок в указанном температурном диапазоне в условиях, минимизирующих по возможности термический отжиг наведённых радиацией дефектов. Необходимо отметить, что столь высокая доза приводит к выходу из строя обычных полупроводниковых кремниевых приборов за счет возникновения в их рабочем теле дефектов, приводящих к резкому изменению электрофизических свойств, в особенности, в базовой области приборов.

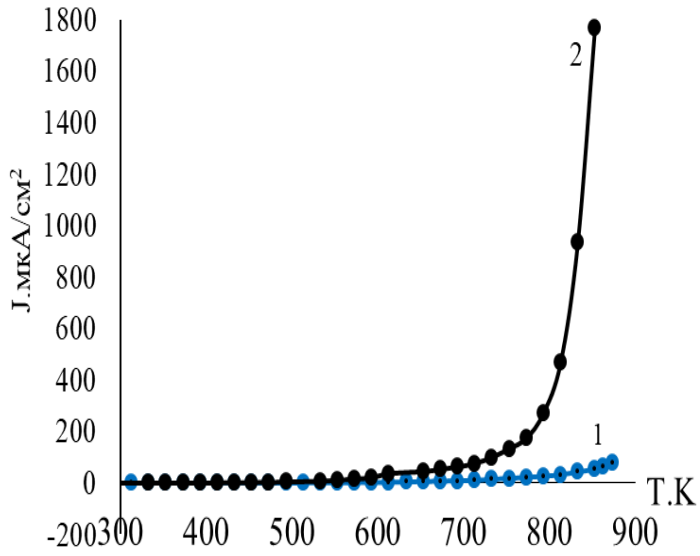


Рис.1. Температурные изменения тока короткого замыкания, снятые на структурах Si-Ge:Ti/Si до (1) и после (2) облучения γ-квантами Co^{60}.

Обнаружено, что облучение γ-квантами Co^{60} существенно влияет на величину возникающих при нагреве тока короткого замыкания и напряжения, а также на сопротивление структуры. В частности, величина U_{xx}, после облучения при температуре нагрева 800 К уменьшается в 2 раза, тогда как темновой ток $I_{кз}$ становится в 1,5 раза выше, а при 900 К эта разница еще более заметна. Ток $I_{кз}$ у исходных образцов достигает величины ~100 мкА/см^2, тогда как в результате облучения его величина уверенно превышает ~1800 мкА/см^2 (рис.1). Что касается электрического сопротивления, то в результате облучения γ-квантами его величина при 300 К падает более чем на порядок, а при более высоких температурах эти величины сопоставимы; более того, у облученного образца R в диапазоне температур 400-600 К несколько выше, чем у необлучённого.

Полученные результаты являются наглядным примером сильного влияния на генерацию тока и возникновение U_{xx}, и $I_{кз}$ в образцах Si-Ge:Ti/Si дефектов структуры. Эти результаты и данные [2] свидетельствуют, таким образом, что в общем случае именно дефекты собственной структуры играют основную роль в возникновении тепловольтаического эффекта в объектах различного типа.

1. M.S. Saidov, B.M. Abdurakhmanov, L.O. Olimov. //Applied Solar Energy. 2007. V.43. P.203.
2. Б.М.Абдурахманов, М.Х.Ашуров, Х.Б.Ашуров, Ш.К.Кучканов, С.Е.Максимов, С.Ж.Ниматов. //Узбекский физический журнал. 2014. Т.16. №3. С.219.
3. Ж.Т. Абдурахманов, И.В.Драчук, К.Л.Лютович. //Узбекский физический журнал. 1997. №5-6. С.74.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДЛОЖКИ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТИ ПЛЕНОК Sb_2Se_3 ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ХМПО ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Т.М.Разыков, К.М.Кучкаров, Б.А.Эргашев, А.Олимов, М.Махмудов, Д.З.Исаков, С.Р.Жумабоев

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз, Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

aolimov91@yahoo.com

На сегодняшний день для достижения высокой эффективности тонкопленочных солнечных элементов разрабатываются и исследуются новые структуры: Sn(Se,S), $Cu_2Sn(Se,S)_3$, Cu_2O, $CuSbS_2$, Cu_3N, FeS_2, Sb_2Se_3, Sb_2S_3 и $Sb_2(Se,S)_3$ [1]. Элементы, входящие в состав этих структур, также имеют низкую себестоимость и не токсичны. Эти новые материалы являются привлекательными материалами и имеют такие же свойства, как $Cu(In,Ga)(Se,S)_2$, так как их ширина запрещенной зоны лежит в диапазоне 0,87 ÷1,7 эВ. Эффективность этих солнечных элементов достигла 4÷10 % [1].

Исходя из вышеизложенного, за последние пять лет тонкопленочные солнечные элементы на основе Sb_2Se_3 и Sb_2S_3 достигли максимальной эффективности 6 ÷9,2% [1].

Эффективность тонкопленочных солнечных элементов связано с методами получения базового слоя. В настоящее время в солнечных элементах применяются безвакуумные, высоковакуумные и низковакуумные методы получения базового слоя [2]. Физические свойства базового слоя СЭ значительно зависит от технологических параметров методов. Одна из важнейших параметров является температура подложки. Однако в большинстве исследований не уделялось внимания влиянию температуры подложки на свойства и структуру тонких пленок Sb_2Se_3, что ограничивает эффективность данного солнечного элемента.

В данной работе было исследовано влияние температуры подложки на электрические свойства тонких пленок Sb_2Se_3, полученных методом химически молекулярно-пучкового осаждения (ХМПО) при различных температурах подложки.

Синтез пленок Sb_2Se_3 методом ХМПО подробно описан в работе [3]. В качестве исходного вещества, был использован порошок Sb_2Se_3, полупроводниковой чистоты (99,999%), который испарялся в потоке водорода при атмосферном давлении. Температурный интервал испарений для выращивания пленок находится в пределах 750°C - 950°C, а температура подложки варьировалась в интервале 450°C - 550°C. Поток газа носителя водорода составлял ~ 20 $см^3$/мин.

В рисунке 1 представлена зависимость электропроводимости от температуры подложки. Как видно из рисунка при увеличении температуры подложки до температуры близкой к 550°C электропроводимость пленок увеличилась с ~$1,6 \cdot 10^{-6}$ $(Ом \cdot см)^{-1}$ до $3,8 \cdot 10^{-5}$ $(Ом \cdot см)^{-1}$. Дальнейшее повышение температуры подложки при $T_п$=550°C резко уменьшилась электропроводимость пленок до ~10^{-7} $(Ом \cdot см)^{-1}$. Увеличение электропроводимости с повышением

температуры можно объяснить с помощью модели барьера Петрица: согласно модели, кристаллиты не растут достаточно большими при низкой температуре, а более крупные межкристаллические области обеспечивают высокое сопротивление движению носителей заряда. При высокой температуре образование меньшего количества центров зародышеобразования приводит к большому размеру кристаллитов, что в конечном итоге может уменьшить межкристаллитные барьеры, следовательно, уменьшая удельное электрическое сопротивление и, следовательно, вызывая более высокую подвижность носителей. И высокая мобильность носителей требуется для повышения эффективности преобразования солнечных элементов. Такие же результаты наблюдались в работе [4]. Уменьшение электропроводимости пленок, объясняется тем, что при $T_п$=550°C кристалличность пленок ухудшается. Все полученные образцы имели p-тип проводимости.

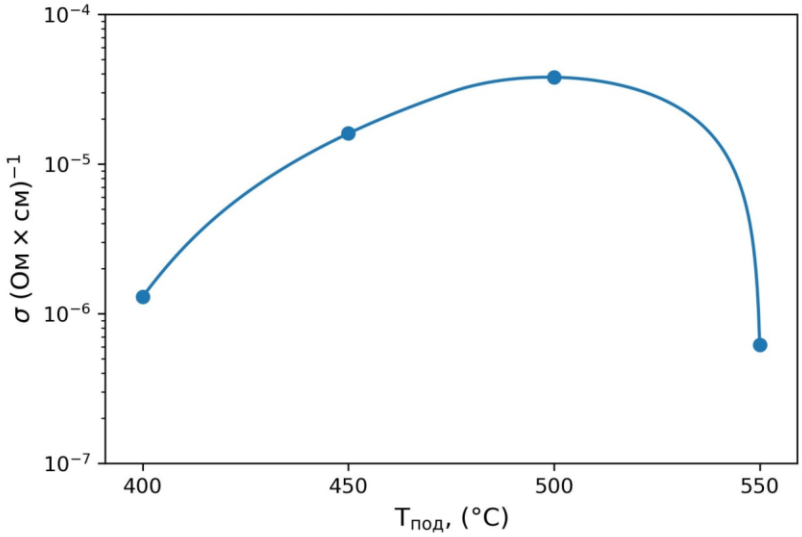


Рис.1. Зависимость электропроводимости пленок Sb_2Se_3 от температуры подложки

1. T. Razykov, A. Mavlonov, Fazal Raziqa, Jiantuo Gana, Jakapan Chantanac, Yu Kawanoc, Takahito Nishimurad, Haoming Weie, Andriy Zakutayev, Takashi Minemotoc, Xiaotao Zua , Sean Lig , Liang Qiaoa. A review of Sb2Se3 photovoltaic absorber materials and thin-film solar cells. Solar Energy, v. 201, pp.227-246.;
2. X.M. Wang, R.F. Tang, Y.W. Yin, H.X. Ju, S.A. Li, C.F. Zhu, T. Chen, Interfacial engineering for high efficiency solution processed Sb_2S_3 solar cells, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 189 (2019) 5–10.;X. Liu, J. Chen, M. Luo, M. Leng, Z. Xia, Y. Zhou, S. Qin, D.J. Xue, L. Lv, H. Huang, D. Niu, J. Tang, Thermal evaporation and characterization of Sb_2S_3 thin film for substrate Sb_2Se_3/CdS solar cells, ACS Appl. Mater. Interfaces 6 (2014) 10687–10695.
3. Razykov T. M. Chemical molecular beam deposition of II-VI binary and ternary compound films in gas flow. Applied Surface Science, 1991, v.48/49, N1, p.p.89-92.
4. Rokas Kondrotasa, Jun Zhanga, Chong Wanga, Jiang Tanga. Growth mechanism of Sb_2Se_3 thin films for photovoltaic application by vapor transport deposition, Solar Energy Materials and Solar Cells Volume 199, 1 September 2019, Pages 16-23

ВЛИЯНИЕ НАНОМОЛЕКУЛ СЕЛЕНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Ш.И. Аскаров, Б.З. Шарипов, Ш.К.Салиева, Шукурова Д.М.
Ташкентский Государственный технический университет
bashirulla@mail.ruм

Солнечные элементы (СЭ) на базе как кремния, так и других полупроводниковых материалов имеют один существенный недостаток, заключающийся в том, что солнечные лучи с энергией меньше, чем ширина запрещенной зоны (ΔEg) не дают вклада в выходную мощность. Кроме того, эта часть световой энергии проходя толщу полупроводника без потер, полностью поглощается в тыловом контакте СЭ. Вследствие чего кристалл нагревается. А повышение температуры кристалла приводит к уменьшению эффективности преобразование солнечной энергии. В связи с этим создание по толщине кристалла СЭ слоя способного поглощать солнечные лучи с энергией $h\nu<Eg$ несомненно является актуальной задачей в целях повышения эффективности преобразования солнечного излучения за счет расширения спектрального диапазона фото отклика и снижения температуры нагрева базы. Это цель может быть эффективно реализована путем легирования кристаллов кремния с примесями, вносящие в запрещенную зону кремния многозарядные глубокие центры.

Целью настоящих исследований является выбор оптимальной примеси, способствующей максимальному расширению спектрального диапазона фото отклика и тем самым повышения эффективности СЭ. Для сравнения в качестве легирующей примеси были выбраны селен и цинк, отличающихся наиболее высокий концентрацией электроактивных атомов в кремнии. Максимальная концентрация электроактивных атомов селена составляет ~5·1016 см-3. Селен в кремнии проявляет донорную природу, внося в запрещенную зону две глубоких донорных центров с энергиями Ec-0,26 и Ee-0,51 эВ. Тогда, как цинк в кремнии проявляет акцепторную природу внося в запрещенную зону две глубоких акцепторных центров с энергиями Ev+0,31 и Ev +0,55 эВ. Максимальная концентрация электроактивных центров цинка составляет ~ 1016 см-3.

Омические контакты были получены путем вакуумного напыления никеля на поверхности пластин. Как показали результаты сравнительных исследований в идентичный условиях, КПД СЭ с слоем легированным селеном оказалось на 15-20% эффективнее, чем СЭ без легированного слоя. Тогда как в случае цинка повышение эффективности СЭ оказалась гораздо ниже ~ 2%.

В конце отмечается, что столь высокая эффективность СЭ на базе кремния, легированного с селеном объясняется специфическими особенностями поведения селена в кремнии.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СОСТАВ И СТРУКТУРУ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО Si

Б.Е. Умирзаков[1], З.А. Турсунметова[2], И.Р. Бекпулатов[1], Р.Ф. Файзуллаев[1]

[1]*Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан*

[2]*Институт Физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана им. Мирзо Улугбека.*

bekpulatov85@rambler.ru

В создании новых приборов электроники и оптики особое место занимает получение наноразмерных многослойных гетероструктур сверхрешеток, квантовых ям на основе монокристаллов Si. Наиболее совершенные структуры с заданными физическими свойствами создаются в условиях сверхвысокого вакуума с использованием методов напыления (МЛЭ, ТФЭ, РЭМ) и ионной-имплантации [1-3]. При этом наиболее жесткие требования предъявляются к чистоте поверхности подложка – кремнии, условиям сверхвысокого вакуума ($P \leq 10^{-7}$ Па); получению атомно-чистой поверхности; обеспечению чистых условий осаждения или ионной имплантации; точности контроля структуры, состава и толщины растущей пленки. В настоящее время хорошо изучены состояния структуры и свойства Si(111), очищенных различными способами [4-6]. В данной работе приводятся результаты исследования по изменению состава, структуры поверхности хорошо очищенных различными способами, в одинаковых вакуумных условиях монокристаллов Si(111) после выдержки их в условиях сверхвысокого вакуума.

Для изучения состояния состава, структуры и топографии поверхности кремния в процессе технологических воздействии нами использованы методы оже-электронной спектрометрии (ОЭС), дифракции медленных и быстрых электронов (ДМЭ и ДБЭ), а также растровой электронной микроскопии.

В таблице приведены концентрации примесных атомов O, C и S хорошо очищенных в вакууме ~10^{-7} Па образцов Si(111) различными способами, полученные сразу после очистки.

Таблица

Концентрация атомов O, C и S на поверхности очищенного Si(111)

Примесь	Метод очистки		
	Прогрев	Ионно-плазменная	Имплантация ионов Ba^+ прогрев
O, %	1,2	0,3	0,1
C, %	0,8	0,2	-
S, %	0,5	-	-

На рисунке приведены зависимости интенсивности оже-пика кислорода I_0 с энергией 506 эВ от времени выдержки t при вакууме 10^{-6} Па (кривая 1) и 10^{-7} Па (кривая 2) для Si(111), очищенного после имплантации ионами Ba^+ последующим прогревом. Видно, что в обеих случаях начиная с t = 10-12 сек.

наблюдается увеличение интенсивности оже-пика кислорода, причем увеличение I_0 при вакууме 10^{-6} Па значительно больше, чем в вакууме 10^{-7} Па.

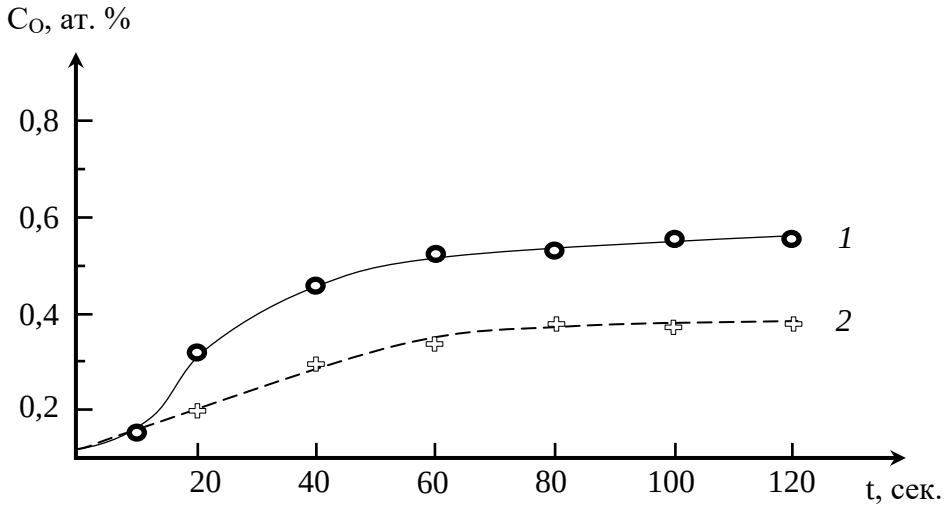


Рис.1. Зависимости поверхностной концентрации кислорода от времени выдержки чистого Si при вакууме 10^{-6} (кривая 1) и 10^{-7} Па (кривая 2).

При t = 70-100 сек концентрация кислорода в первом случае достигает 0,5 – 0,8 ат. %, а во втором - 0,3 – 0,5 ат. %. Дальнейшее увеличение *t* не приводит к заметному росту концентрации кислорода. Можно полагать, что загрязнение поверхности Si, выдержанные в условиях сверхвысокого вакуума, в основном происходит за счёт адсорбции атомов остаточного газа. Отметим, что после прогрева этих образцов при вакууме 10^{-7} Па при T ≈ 1400 К в течение 30 минут адсорбированные атомов О полностью испаряются.

1. Рудаков В.И., Денисенко Ю.И., Наумов В.В., Симакин С.Г. Особенности формирования $CoSi_2$ при двухстадийном быстром термическом отжиге структур Ti/Co/Ti/Si(100) // Письма в ЖТФ, 2011, том 37, вып. 3. С. 36-44.
2. Ченг Л., Плог К. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры. / Издательство «Мир». 1989. 584 с.
3. Umirzakov B.E., Tashmukhamedova D.A., Muradkabilov D.M., Boltaev Kh.Kh. Electron spectroscopy of the nanostructures created in Si, GaAs, and CaF_2 surface layers using low-energy ion implantation // *Technical Physics* 2012. Vol. 58, p. 841–844.
4. Risbaev A.S., Khujaniyazov J.B., Bekpulatov I.R., Rakhimov A.M. Method for additional purification of the surface of Si(111) single crystal // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, Vol. 11, №5, 2017. -PP. 994–999.
5. Рысбаев А.С., Нормурадов М.Т., Хужаниязов Ж.Б., Бекпулатов И.Р., Рахимов А.М. Труды XXIV Международной конференции «Радиационная физика твердого тела», Севастополь, Россия, 2014, С. 172-183.
6. Рысбаев А.С., Хужаниязов Ж.Б., Бекпулатов И.Р., Файзуллаев Р.Ф. Способ дополнительной очистки поверхности монокристаллов кремния// Тезисы XLV международной Тулиновской конференции, Москва, 2015, С. 145.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ НОВОГО МАТЕРИАЛА $Zn_xSn_{1-x}Se$

Т.М.Разыков, К.М.Кучкаров*, Б.А.Эргашев, Р.Т.Йулдошов, М.Махмудов
Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз,
Узбекистан, Ташкент, ул.
k.kuchkarov@mail.ru

В настоящее время солнечные элементы на основе поликристаллического и монокристаллического Si занимают лидирующие позиции на рынке фотоэлектрических систем, составив в 2020 году более 95%, хотя, когда речь идет о малом весе, гибкости и создании интегрированных систем, кристаллический Si (c-Si) несколько громоздок. Альтернативно, технологии тонкопленочных солнечных элементов позволяют использовать различные подложки, в том числе гибкие и легкие. В настоящее время основными технологиями тонкопленочных солнечных элементов являются $Cu(In,Ga)Se_2$ (CIGS) [1], CdTe [2] и органически-неорганические гибридные перовскиты (например, $CH_3NH_3PbI_3$) [3], все они достигли эффективности более 20% в лабораторных условиях [4]. Тем не менее, материалы CIGS и CdTe имеют фундаментальные ограничения, когда речь идет о массовом производстве. Из-за дефицита In технология CIGS ограничивается производственной мощностью ниже уровня 10^{12}Вт [5], тогда как CdTe содержит тяжелые металлы, что вызывает экологические проблемы.

В данной работе исследованы влияния состава и селенизации базового слоя на фотоэлектрические свойства солнечных элементов на основе пленок $Zn_xSn_{1-x}Se$ твердого раствора.

Пленочные СЭ на основе $Zn_xSn_{1-x}Se$, формировались на стеклянных подложках с покрытием из молибденового слоя методом химически молекулярно-пучкового осаждения. Процесс изготовления солнечных элементов на основе пленок твердого раствора $Zn_xSn_{1-x}Se$ осуществляется следующий образом. Во-первых, для получения хорошего омического контакта на $Zn_xSn_{1-x}Se$ на стеклянных подложках с покрытием из молибденового слоя был осажден тонкий слой MoSe толщиной (60-80 нм). Затем методом ХМПО осаждены пленки твердого раствора $Zn_xSn_{1-x}Se$ при температуре подложки 550°C.

Для улучшения структурных и электрических свойств пленок твердого раствора была проведена селенизация в закрытом объеме (в среде чистого аргона). Последующая селенизация проводилась при давлении газа Ar в ~1 мбар и температурах 560–600°C в течение 10-20 мин. На поверхности структур Mo/MoSe/$Zn_xSn_{1-x}Se$ термическим испарением осаждались пленки CdS (толщиной 50-100 нм, при давлении 10^{-5} мм.рт.ст. и температуре подложки 200°C). Поверхности гетероструктур так же были очищены дионизированной водой и высушены в потоке азота. Затем для улучшения их фотоэлектрических характеристик методом магнетронного распыления получены прозрачные проводящие пленки ZnO с толщиной 50 нм и ZnO(Al) с толщиной 200-300нм на передний контакт гетероструктур Mo/MoSe/$Zn_xSn_{1-x}Se$.

Результаты измерения световой ВАХ и спектральных характеристик гетероструктурных солнечных элементов показали, что после селенизации фотоэлектрические характеристики улучшались. Значения фотоэлектрических параметров: плотность тока короткого замыкания (J), напряжение холостого хода (U), фактор заполнения световой вольтамперной характеристики (FF) и эффективности (η) приведены в таблице 1.

В таблице 1 показано значительное увеличение фотоэлектрических параметров солнечных элементов различного состава после термической обработки. Это связано с тем, что после селенизации увеличиваются средние размеры зерен пленок $Zn_xSn_{1-x}Se$ и CdS, которые были получены низкотемпературными методами электроосаждения и вакуумного осаждения. Улучшается также структурные и электрофизические свойства пленок $Zn_xSn_{1-x}Se$ и CdS, т.е. увеличивается подвижность носителей заряда и электропроводность и уменьшаются параметры решеток пленок. Кроме того, селенизация снижает плотность состояний границы между CdS и $Zn_xSn_{1-x}Se$, вызывая диффузию CdS в $Zn_xSn_{1-x}Se$. Известно, что взаимная диффузия S вблизи перехода CdTe/CdS улучшает физические свойства соединения $CdS/Zn_xSn_{1-x}Se$ за счет уменьшения рассогласования решетки между CdS и $Zn_xSn_{1-x}Se$.

Таблица 1

Фотоэлектрические параметры тонкопленочных солнечных элементов на основе $Zn_xSn_{1-x}Se$ после селенизации

X	Номер образца	U_{xx} (мВ)	FF (%)	$J_{кз}$ (мА/см^2)	η Эффективность, (%)
0,1	1-C	560,6	42,003	25,04	5,19
0,08	A-1	546,9	41,356	23,23	4,98
0,07	B-2	538,1	40,213	20,49	4,91
0,06	B-3	527,6	39,114	18,07	4,88
0,05	2-A	483,6	37,218	17,84	4,72
0,04	1-B	461,5	36,798	14,84	4,33
0,03	2-C	428,5	35,367	13,489	4,21

1. Jackson, P., Hariskos, D., Lotter, L., Paetel, S., Wuerz, R., Menner, R., Wischmann, W., and Powalla, M. New world record efficiency for Cu (In, Ga) Se2 thin-film solar cells beyond 20%. *Progress Photovoltaics: Research Applications*, 2011, 19, 894–897.
2. Burst, JM, Duenow, JN, Albin, DS, Colegrove, E., Reese, MO, Aguiar, JA, Jiang, C.-S., Patel, MK, Al-Jassim, MM, Kuciauskas, D., et al. CdTe solar cells with open-circuit voltage breaking the 1 V barrier. *Nature Energy*, 2016, 1, 16015.
3. Yang, W.S., Noh, J.H., Jeon, N.J., Kim, Y.C., Ryu, S., Seo, J., and Seok, S.I. (2015). High performance photovoltaic perovskite layers fabricated through intramolecular exchange. *Science*, 348, 1234-1237.
4. Green et. al. // *Progress in Photovoltaics*, 2019. - Volume 27, Issue 1, January. - pp. 3-12.
5. https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf /.

ФОТОТЕРМОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В БИНАРНОМ СОЕДИНЕНИЕ GaP

А.С.Саидов[1], Ш.Н.Усмонов[1], О.З.Тургунов[1], А.Б.Каршиев[1], У.П.Асатова[2]

[1]*Физико-технический институт НПО "Физика-Солнце" АН РУз, г. Ташкент Узбекистан.*

[2]*Ургенческий государственный университет, г. Ургенч, Узбекистан.*

sh_usmonov@rambler.ru

Мы исследовали фототермовольтаический эффект - термогенерацию электронно-дырочных пар за счет тепла, выделяемого при фотонагреве. Фотонагрев образца GaP осуществлялся равномерным концентрированным солнечным излучением. На GaP толщиной 400 мкм наносился токосъемные (омические) контакты из Ag. Образцы GaP помещались в металлический бокс под линзой Френеля (F = 28 см, ∅ = 26 см). В ходе эксперимента расстояние между линзой и образцом составляло 10 см и тем самым поддерживалось постоянное значение светового потока, падающего на поверхность GaP. Температура регулировалась продолжительностью подсветки.

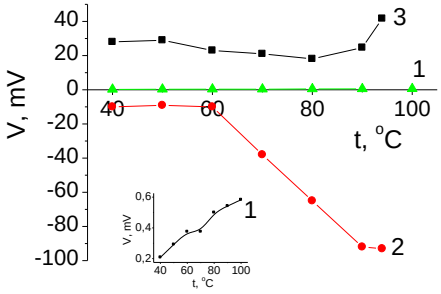


Рис.1. Зависимости темнового напряжения, генерированного соединением GaP от температуры: 1 – нагрев тепловым контактом, 2 – фотонагрев; 3 – фотонапряжение при освещении.

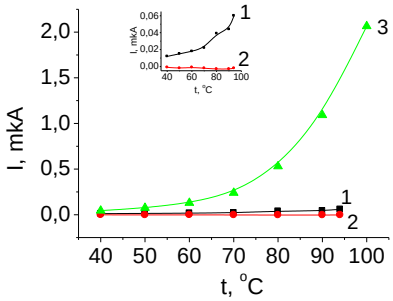


Рис.2. Зависимости темнового тока, генерированного соединением GaP от температуры: 1 – нагрев тепловым контактом, 2 – фотонагрев; 3 – фототок при освещении.

Напряжение (V) и ток (I), генерируемые соединением GaP при освещении его концентрированным солнечным излучением и без освещения, регистрировались при различных температурах (рис. 1 и 2). Как видно из рисунки кривые 1 при нагреве образца в темноте с помощью теплового контакта в нем появляются ЭДС и ток, значения которых увеличиваются с ростом температуры и достигают 0,58 мВ и 65 нА соответственно при 100°С. При воздействии на образец солнечного света постоянной интенсивности с повышением температуры сначала от 40 до 80°С наблюдается медленное уменьшение фотоЭДС, достигающее значение 18 мВ, а затем ее рост до значения 42 мВ при 94°С (рис.1, кривая 3). При этом наблюдается монотонный рост величины фототока от 0.045 до 2.065 мкА при повышении температуры от 40 до 100°С (рис.2, кривая 3). Увеличение фотоЭДС и фототока при фотонагреве является проявлением фототермовольтаического эффекта.

ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА ПРОТОНООБМЕННЫХ МЕМБРАН ОТ КОЛИЧЕСТВО ТЭОС

У.Ф.Бердиев, Ш.Ч.Искандаров, Т.К.Турдалиев, Х.Б.Ашуров.
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АНРУз, Ташкент busmon050@gmail.com

Протонообменные мембраны на основе поливинилового спирта значимы с точки зрения их применимости во многих областях, где имеют место электрохимические процессы, такие как топливные элементы и проточные аккумуляторы. Гидрофильность таких мембран, способность образовывать пленку, низкая себе стоимость и способность формировать превосходные полимерные сетки с использованием различных сшивающих агентов представляют большой интерес в области мембранной технологии. Многоосновные кислоты и их ангидриды, которые сохраняют карбоксильные и карбонильные функциональные группы, могут быть получены в качестве сшивающих агентов для образования гелей. При сшивании поливинилового спирта с сульфокислот, синтезируется протонообменная полимерная структура заданными свойствами. Для улучшения свойств синтезированных мембран, таких как, ионная проницаемость, термическая стабильность, механические свойства в композитные материалы вводятся кремни содержащие вещества[1].

Для топливных элементов и проточных аккумуляторов в настоящее время широко используются производимые в США фторосодержащие протонообменные мембраны Dupoint Nafion. В качестве альтернативы предлагаются нефторированные полимеры, а также протонообменные мембраны на основе поливинилового спирта [2]. Физико-механические свойства протонообменных мембран на основе поливинилового спирта и модифицированных композитных мембран требуют проведения ряда научных исследований для их применения в области электрохимии [3].

Проведенные эксперименты позволили синтезировать композитные мембраны на основе ТЭОС, поливинилового спирта и органических сшивающих агентов[4]. При синтезе композитных мембран ТЭОС вводится при помоши золь-геля метода, на мембране оседает между гидрофильной и гидрофобной частями в виде наночастиц оксида кремния. Изучено влияние количественных изменений исходных веществ на свойства протонообменной мембраны. На таблице 1 приведен связь физических свойств от количества ТЭОС в синтезированных протонообменных мембранах.

Согласно температурной зависимости протонной проводимости энергия активации протонного переноса E_a, рассчитывалась на основе уравнения Аррениуса.

Таблица 1

Количество ТЕОС %	Z мСм*см$^{-1}$ 70 ^{0} С	E_a кЖ*моль$^{-1}$К$^{-1}$	Прочность на разрыв МПа	Относительное удленение при разрыве %
0	9.8	19	3	220
1	16.6	28	3	92
2	10.2	24	5	88
5	7.9	13	9	52
20	20.1	25	13	48

По сравнению с Nafion (E_a= 22,8 кДж*моль$^{-1}$) энергия активации протонного переноса для мембран на основе поливинилового спирта равна 19 кЖ*моль$^{-1}$. При добавлении 2% ТЕОС в состав мембраны на основе поливинилового спирта, значение E_a поднелась до 28 кЖ*моль$^{-1}$. При далнейшем повышении количества ТЭОС наблюдалось так же повышения значения E_a, при достижении концентрации в 5%, рост значение E_a остановилось и наблюдалось постепенный спад при дальнейшем повышении концентрации. Следовательно, содержание ТЭОСа оказывает существенное влияние как на протонную проводимость, так и на энергию активации протонного переноса.

1. Maiti J, *et al.* // Where do poly (vinyl alcohol) based membranes stand in relation to Nafion® for direct methanol fuel cell applications. // Journal of Power Sources. 2012;216:48–66.https://doi.org/ 10.1016/j.jpowsour.2012.05.057
2. Dhanapal D, *et al.* // Review on sulfonated polymer composite/organicinorganic hybrid membranes to address methanol barrier issue for methanol fuel cells // Nanomaterials. 2019;9:668. https://doi.org/10.3390/nano9050668
3. Wong CY, *et al.* // Development of development of poly(vinyl alcohol)-based polymers as proton exchange membranes and challenges in fuel cell application // Polymer Reviews. 2019;60(1):171–202. https://doi.org/10. 1080/15583724.2019.1641514
4. Бердиев У.Ф., Искадаров Ш.Ч., Холиков М.М., Ашуров Х.Б. // Получение композитов для формирования протонообменных мембран // “New materials &Heliotechnologies” Proceedings of the International Conference. 20-21 may 2021Parkent, Uzbekistan. 62-64.

ФОТОТЕРМОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ТВЕРДОМ РАСТВОРЕ $(Si_2)_{1-x}(GaN)_x$

А.С.Саидов, Ш.Н.Усмонов, Т.Т.Ишниязов, А.Б.Каршиев
Физико-технический институт НПО "Физика-Солнце" АН РУз,
г. Ташкент Узбекистан.
tolmas.14@mail.ru

Поиск возможности повышения эффективности солнечных элементов привели к идее о существовании фототермовольтаического (ФТВ) эффекта, происходящего в результате термогенерации электронно-дырочных пар за счет тепло, образованного фотонагревом [1]. В данной работе приводятся результаты исследования ФТВ эффекта в твердом растворе (ТР) $(Si_2)_{1-x}(GaN)_x$ при нагреве его концентрированным солнечным излучением.

Твердые растворы $(Si_2)_{1-x}(GaN)_x$ выращивались методом жидкофазной эпитаксии из Sn раствора-расплава на c-Si(111) подложках. Состав раствора-расплава Sn-Si-GaN был определен на основе результатов предварительных опытов и литературных данных [2]. Поверхность выращенной пленки была гладко-зеркальная, толщина слоя составляла 30 мкм. Эпитаксиальная пленка имела электронный тип проводимости.

Для снятия сигнала ФТВ эффекта титан наносился на поверхность эпитаксиальной пленки, затем поверх титана были припаяны медные провода. Приповерхностная область пленки представляет собой широкозонный слой ТР с высоким содержанием GaN. Этот слой характеризуется, в основном, параметрами нитрида галлия.

Образцы с токосъемными контактами помещались в металлический ящик под линзой Френеля (F=28 см, ∅ = 26 см). Диаметр светового пятна, образованного линзой Френеля на порядок больше размера образца, т.е. образец освещался равномерным по поверхности излучением. В ходе эксперимента расстояние между линзой и образцом составляло 14 см, и тем самым поддерживалось постоянное значение интенсивности светового потока, падающего на поверхность образца. Температура образца измерялась хромель-копелевой термопарой, и она регулировалась продолжительностью подсветки.

Напряжение (V) и ток (I), генерируемые приповерхностной областью ТР $(Si_2)_{1-x}(GaN)_x$ при освещении концентрированным солнечным излучением и без освещения, регистрировались при различных температурах (рис. 1 и 2). Как видно из рис. 1 и 2, при освещении исследуемой структуры концентрированным солнечным светом возникающие в ней напряжение и ток при 310 К составляют 57 мВ и 152 мкА соответственно. При повышении температуры до 340 К напряжение и ток медленно уменьшаются (кривые 3), а при дальнейшем повышении температуры при постоянном значении силы светового потока наблюдается увеличение их значений. При затенении также наблюдается генерации темнового напряжения и тока (кривые 2). Причем при

310 К их значения составляют 0,22 мВ и 80 мкА. С ростом температуры до 320 К наблюдается небольшое уменьшение, а затем монотонный рост их значений.

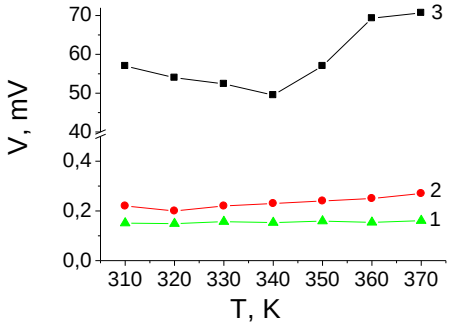


Рис.1. Зависимости темнового напряжения, генерированного ТР $(Si_2)_{1-x}(GaN)_x$ от температуры: 1 – нагрев тепловым контактом, 2 – фотонагрев; 3 – фотонапря-жение при освещении.

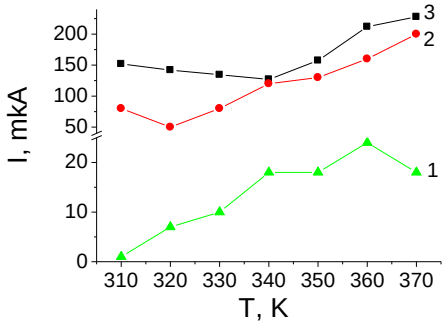


Рис.2. Зависимости темнового тока, генерированного ТР $(Si_2)_{1-x}(GaN)_x$ от температуры: 1 – нагрев тепловым контактом, 2 – фотонагрев; 3 – фототок при освещении.

При нагревании образца не солнечным светом, а тепловым контактом также наблюдается генерация напряжения и тока (кривые 1). С ростом температуры их значения растут. Причем, значения темновых напряжений и токов при тепловом нагреве меньше, чем при фотонагреве. Тепловая генерация электрического тока чувствительна к природе возбуждения образца. Фотонагрев намного эффективнее обычного контактного.

Очевидно, что в образце происходит как фото-, так и тепловая генерация носителей заряда, разделение которых полем в приконтактной области структуры создает фото- и тепловое напряжение. Для объяснения высокого значения фототермонапряжения достигающего 70 мВ при 370 К, по сравнению с его значением при 310 К, равное 57 мВ, предполагаем возможности существенного вклада примесного термофотонапряжения.

Основным компонентом приповерхностного слоя $(Si_2)_{1-x}(GaN)_x$, как было указано выше, является GaN. Атомы Si в этом слое создадут нанодефекты содержащие 3 Si-Ga и 3 Si-N связи. Эти связи могут внести донорные уровни, расположенные в верхней части запрещенной зоны. Возникновение фотонапряжение происходит без участия примесных уровней, расположенных ближе к дну зоны проводимости. При достаточном нагреве (370 К) термогенерация с этих уровней создает условие для фотогенерации дырок с участием донорных связей, освобожденных от электронов. В результате происходит примесная термофотогенерация, приводящая к увеличению фотонапряжение при фототермогенерации (кривая 3, рис. 1).

1. Саидов М.С. Гелиотехника. № 1, 2012 г. С. 3-7.
2. А.С. Саидов, М.С. Саидов, Ш.Н. Усмонов и др. Физика твердого тела. 2011. том 53. вып. 10 ст. 1910-1919.

ВАНАДИЕВЫЕ ПРОТОЧНЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ КАК СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Ш.Ч.Искандаров, Т.К.Турдалиев, У.Ф.Бердиев, Х.Б.Ашуров
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АНРУз, Ташкент
iskandarovshukhrat86@gmail.com

Возобновляемые источники энергии на основе солнечных фотоэлектрических станций отличаются неравномерностью энергетических показателей, что связано с суточным, сезонным, климатическим и просто погодным непостоянством интенсивности солнечного излучения, приходящего к их рабочей поверхности. Очевидно, что необходима система, позволяющая согласовывать генерацию и потребление энергии от этих источников [1]. Ясно, что система хранения энергии помимо обеспечения бесперебойного энергоснабжения потребителей за счет накопления избыточной энергии с последующим ее использованием в периоды отсутствия или недостатка, должна также обеспечивать хранение энергии с минимальными потерями в течение длительного времени с момента ее выработки и поддерживать оптимальный режим работы источников энергии и потребителей за счет выравнивания любых ее колебаний в энергосистеме вплоть до частотного сглаживания.

Перспективным вариантом являются аккумуляторы, работа которых основана на одновременно протекающих окислительно-восстановительных процессах [2,3]. В устройствах такого типа называемых «редокс-система» окислительно-восстановительные процессы, протекают в электролитах, причем основная их масса хранится во внешних резервуарах, соединённых патрубками с активной рабочей частью. Жидкие электролиты для этих целей, содержат ионы металлов [4]. Схема принципа работы такого устройства приведен в рисунке 1.

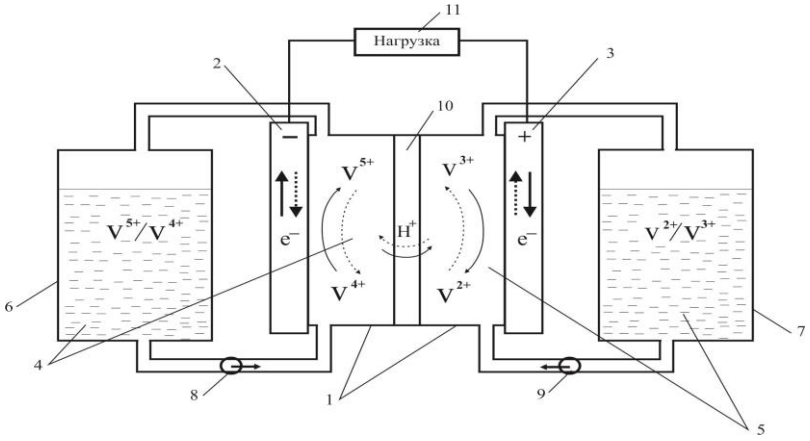


Рис.1. Схема единичной ячейки редокс–аккумулятора в варианте использования в качестве католита и анолита солей ванадия

Путем оптимизации концентрации компонентов электролита и с применением специально подобранных добавок достигалось повышение растворимости ванадия в электролите и в конечном итоге увеличение плотности энергии аккумулятора. Список необходимых материалов для изготовления аккумулятора редокс системы энергоёмкостью в 1 кВт приведен в таблице 1.

Таблица 1

№	Материалы	Количество
1.	V_2O_5	8 кг
2.	H_2SO_4	10л
3.	Протонообменная мембрана	2 $м^2$
4.	Графитовый войлок	2$м^2$
5.	Графитовые пластины	2 $м^2$
6.	Мис пластинка	2 $м^2$

Наиболее привлекательными особенностями этой технологии являются масштабируемость и гибкость, т.е. возможность калибровки мощности и емкости в широких пределах, возможность осуществлять большое количество циклов (заряда/разряда), долговечность, малое время отклика, и сравнительная экологическая безопасность.

В ходе работы был установлен надежный метод приготовления ванадиевых электролитов для использования в полностью ванадиевой окислительно-восстановительной батарее. Разработан метод переработки и ребалансировки электролита.

1. Kh.B. Ashurov, T.K Turdaliev, *et al.* // Solving the problem of energy storage for solar photovoltaic plants (review)// APPLIED SOLAR ENERGY Vol. 55 No.2 2019. 119-125 p // DOI: 10.3103/S0003701X19020038
2. Kh.B. Ashurov, T.K Turdaliev, *et al.* // Electrolytes based on vanadium for flow batteries from local raw materials // Proceedings of the international conference on integrated innovative development of Zarafshan region achievements, challenges and prospects 27-28 november, 2019. Navoi, Uzbekistan, p. 292 - 295
3. T. Shigematsu // Redox flow batteries for energy storage. // SEI Technical Review 2011; 73:4–13.
4. M. Skyllas-Kazacos, *et al.* // Progress in flow battery research and development // Journal of the Electrochemical Society 2011; 158(8): P 55–79.

СЕКЦИЯ 5. ФОТОНИКА

SECTION 5. PHOTONICS

МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР С ПСЕВДОМОРФНЫМИ СЛОЯМИ GESISN И ОКСИДОВ ОЛОВА

А.И.Никифоров, В.А.Тимофеев, В.И.Машано*, И.Д.Лошкарев, И.В.Скворцов, Д.В.Гуляев, Т.А.Гаврилова

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия,

nikif@isp.nsc.ru

Оксиды олова и соединения GeSiSn, объединенные в одной структуре, представляют перспективу их использования в системах мультиспектральной визуализации [1, 2], поскольку они демонстрируют сигнал фотолюминесценции в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн [3]. Изменяя содержание олова в слое твердого раствора GeSiSn, можно регулировать ширину запрещенной зоны материала и изменять оптические свойства от ближнего вплоть до дальнего инфракрасного диапазона.

Гибридный материал на основе оксидов олова и соединений GeSiSn был получен методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) (рисунок 1). На схематичном представлении структуры гибридного материала можно видеть, что он включает многослойную периодическую структуру. Каждый период состоит из слоя Si и слоя GeSiSn. Слои GeSiSn находятся в псевдоморфном состоянии.

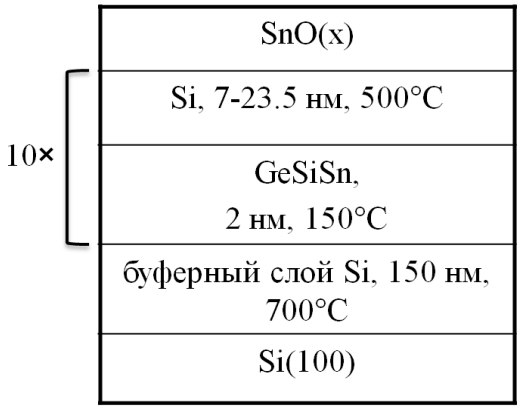


Рис.1. Схематичное представление структуры гибридного материала, включающего оксид олова и мультиквантовые ямы на основе псевдоморфных слоев GeSiSn.

После предварительной очистки поверхности кремния от тонкого слоя окисла, на подложку Si(100) наносился буферный слой Si толщиной 150 нм при скорости осаждения Si 0.2 Å/c и при температуре роста 700 °C для выглаживания поверхности. Далее формировалась многослойная периодическая структура, в которой период состоял из слоя Si толщиной от 7 до 23.5 нм и слоя GeSiSn толщиной 2 нм. В верхней части структуры создавался слой Sn толщиной 30 нм при скорости осаждения Sn 0.2 Å/c и при комнатной температуре. По окончании роста все образцы выгружались на атмосферу и размещались в кварцевую печь. Затем они отжигались в интервале

температур 300 – 700 °C для получения пленок SnO(x). Морфология и структура поверхности в течение роста контролировались методом дифракции быстрых электронов (ДБЭ). Оптические свойства изучались методом фотолюминесценции (ФЛ). ФЛ в видимом диапазоне возбуждалась HeCd-лазером с длиной волны 325 нм и мощностью возбуждения 5 мВт. Сигнал ФЛ регистрировался спектрометром с охлаждаемым фотоэлектронным умножителем с фотокатодом С-20. Кроме того, образцы накачивались лазерным диодом на длине волны 785 нм для наблюдения ФЛ в среднем ИК-диапазоне. Для достижения максимальной эффективности в среднем ИК диапазоне измерения проводились с помощью фотоприемника InSb.

Оптические свойства многослойных периодических структур были исследованы методом фотолюминесценции. На рисунке 2 (а) продемонстрированы спектры ФЛ, полученные возбуждением образца, содержащего структуру из 10 периодов. Период структуры состоял из слоя $Ge_{0.3}Si_{0.63}Sn_{0.07}$ толщиной 2 нм и слоя Si толщиной 7 нм. Наиболее оптимальной температурой окисления была температура отжига пленки Sn 100 °C в течение получаса, а затем отжиг при 200 ° C также в течение получаса. Только в таких условиях удалось получить яркую ФЛ, начиная с 300 °C на длине волны 530 нм, как показано на рисунке 2 (б). Эта температура соответствует фазе SnO.

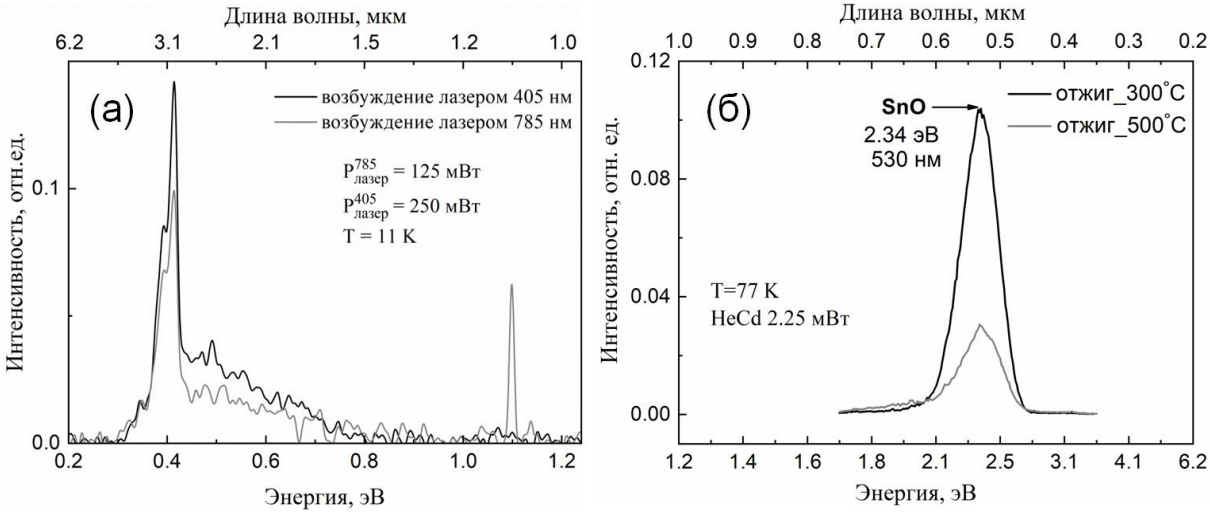


Рис.2. Спектры ФЛ: (а) структура с квантовыми ямами $Ge_{0.3}Si_{0.63}Sn_{0.07}$/Si; (б) SnO(x) поверх многослойной периодической структуры со слоями $Ge_{0.3}Si_{0.63}Sn_{0.07}$/Si.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках Проекта № 20-42-540013.

1. S. Kong, J. Heo, F. Boughorbel, Y. Zheng, B. Abidi, A. Koschan, M. Yi, and M. Abidi, Int. J. Comput. Vis. 71, 215 (2007).
2. A.L. Chan and S.R. Schnelle, Opt. Eng. 52, 017004 (2013).
3. A. Nikiforov, V. Timofeev, V. Mashanov, I. Azarov, I. Loshkarev, V. Volodin, D. Gulyaev, I. Chetyrin, I. Korolkov, Appl. Surf. Sci. 512, 145735 (2020).

POLARON CONDUCTIVITY OF OXIDIZED OLIGOMERS OF 3,4-ETHYLENEDIOXYTHIOPHENE

M.I. Terebinskaya, O.V. Filonenko, O.I. Tkachuk, V.V. Lobanov
Chuiko Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine
E-mail: terebinska@ukr.net

Nowadays, polymers with conjugated carbon chains constitute a promising class of compounds to be convertible into conducting polymers (CP) (so-called "synthetic metals") that possess electronic, electric, magnetic and optic properties of metals, while keeping plastic properties of ordinary polymers. Typical low conductivity of original conjugated polymers (10^{-10} to 10^{-5} S • cm^{-1}) increases significantly (up to 1 to 10^{5} S • cm^{-1}) upon adding small amounts of specific admixtures (dopants) in their matrix. One performs such a doping by either chemical / electrochemical oxidation (*p* doping) or reduction (*n* doping). As the result, polymer chains acquire positive and negative charges, respectively; the latter are compensated by an incorporation of opposite-sign charges from an electrolyte solution into a polymer matrix. By fine-tuning the doping extent, one can vary the electric conductivity of a CP in a wide range.

An investigation of a CP is mainly reduced to clarifying the nature and properties of their charge carriers that usually consist of polarons or / and bipolarons with or without spin. Studies of this kind can crucially facilitate the development of new CP-based materials with improved properties for their subsequent application in molecular electronics.

The most extensively studied CPs are polythiophenes, in particular, poly(3,4-ethylenedioxythiopehene). However, even the latter lacks a reliable information on the nature of its charge carriers and their dependence on the polymer-chain length.

In this work we apply the Kohn-Sham density functional theory (B3LYP / 6-31G**) to study the electronic and spatial structure of the 3,4-ethylenedioxythiopehene oligomer consisting of its 12 units (E12), in its various charge states: 0, +1, +2, +3, and +4. The doping extent is thus simulated by the charge increase of the corresponding oligomer species. We employed spin-unrestricted calculations (UB3LYP) for charge states +1 and +3.

Calculated C-C bond length between neighboring monomeric units amounts 1.433 Å for the electroneutral state of E12 that is typical for a benzenoid phase (Fig.1). However, even an insignificant extent of doping (being simulated by the cation $E12^{+1}$) leads to a monotonous shortening those bonds from the ends of the chain to its center with the minimal value of 1.417 Å at bond 6; the latter being typical for a quinoid structure. The dication $E12^{+2}$ shows similar behavior of the abovementioned bond lengths. However, the latter are noticeably smaller in comparison with the similar bond lengths in $E12^{+1}$, thus showing an increase of the quinoid-phase contribution. Higher oxidation states (+3 and +4) show two minima near bonds 2 and 3, as well as 9 and 10 (Fig.1) that evidences in favor of a further increase of the quinoid-phase contribution as well as a formation of two separated polarons at the ends of the oligomer chain.

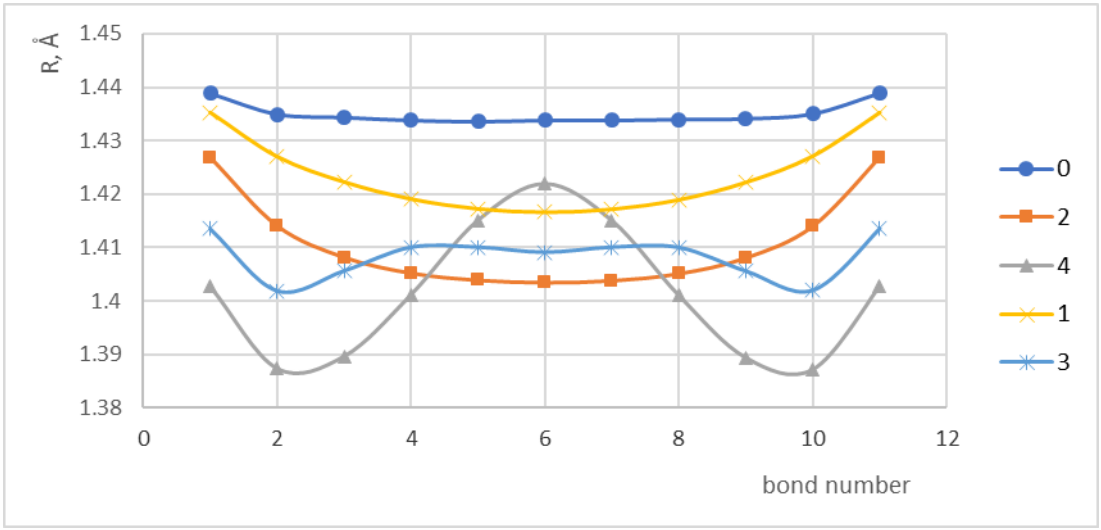


Fig.1. Dependence of intermonomeric C-C bond lengths on the charge state of the E12 oligomer. The bonds are enumerated starting from that between the first and second monomeric units.

The HOMO-LUMO gap in the neutral E12 amounts 2.06 eV. As the positive charge (as a model for an increasing doping extent) grows, we observe a progressive appearance of one ($E12^{+1}$), two ($E12^{+2}$), three ($E12^{+3}$), and four ($E12^{+4}$) polaron levels within the abovementioned HOMO-LUMO gap. A single polaron level in $E12^{+1}$ is separated from the top of the valence band by 0.54 eV. Two polaron levels in $E12^{+2}$ are separated from the valence and conduction bands by 0.50 eV. In the cation $E12^{+3}$, two polaron levels are separated from the top of the valence band by 0.8 eV, and the third level is situated 0.90 eV below the bottom of the conduction band. Finally, four polaron levels of $E12^{+4}$, build pairwise a *prototype of the polaron band* within the HOMO-LUMO gap. To demonstrate the formation of two polarons at the ends of the oligomer chain, we show the structure of the molecular orbital that corresponds to one of such levels (Fig.2).

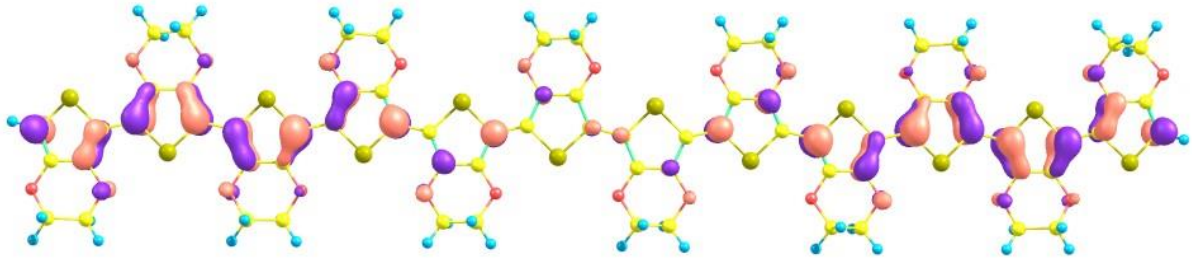


Fig.2. Structure of the molecular orbital corresponding to the polaron level within the HOMO-LUMO gap of the oligomer $E12^{+4}$.

Thus, according to our model, the conductivity of a highly doped (oxidized) 3,4-ethylenedioxythiopehene oligomer consisting of its 12 units is provided by two polarons situated at the ends of the chain. For other oligomers, as well as for poly(3,4-ethylenedioxythiopehene), more sophisticated polaron structures might act as charge carriers.

STUDY OF STABILIZATION OF SELF-ASSEMBLY PROCESSES IN FULLERENE C_{60} SOLUTION

A.M.Kokhkharov, S.A.Bakhramov, U.K.Makhmanov, Sh.A.Esanov, B.A.Aslonov, B.A.Sindarov, Z.Bekmurodov

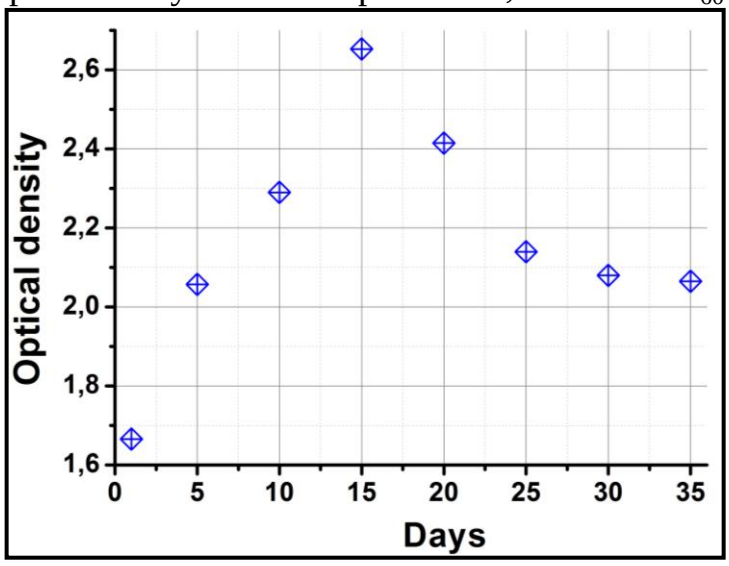
Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies named after U.A. Arifov, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, st. Durmon yuli 33, Tashkent, Uzbekistan;
urol_m@mail.ru

Abstract: Using the method of optical spectroscopy, the processes of self-organization of fullerene C_{60} molecules in a xylene solution in time are studied. The character of stability of synthesized fullerene nanoclusters in solution is discussed.

Keywords: Fullerene C_{60}, optical spectra, self-assembly, xylene.

The discovery and study of Buckminsterfullerene C_{60} with a spherical structure since 1985, has led to revolutionary changes in modern nanotechnology [1]. Fullerenes, soluble in various organic solvents, are often analyzed using UV/visible spectrometry. However, there are few data on the changes in absorption coefficients for the C_{60} fullerene in weakly polar solvents, for example, in xylene.

This article will investigate changes in the absorbance of a C_{60} solution in xylene over time using UV/visible spectrometry. In the experiments, we used C_{60} fullerene powder (SES Research, USA) with purity of less than ~99.8%, and xylene of analytical purity from Sigma Aldrich (USA). The figure shows the changes in the measured values of the optical density of a freshly prepared solution of fullerene C_{60} for different storage times. Measurements were performed at a fixed wavelength of ~336 nm. The fixed concentration of C_{60} in solution was ~1.85 mg/ml. As can be seen, inside a freshly prepared solution, the process of self-assembly of C_{60} molecules immediately begins and lasts up to 15 days, naturally, in this case, the optical density values gradually increase. After 15 days of storage of the solution, the intensity of absorption is completely reduced, although the C_{60} solution remains colloidal. The results show that the optical density of the C_{60} solution after storage for 30 and 35 days is practically indistinguishable, which allows us to conclude that the stability of the synthesized C_{60} fullerene clusters in solution has been achieved.



1. Kroto H.W., et al. C_{60}: Buckminsterfullerene // *Nature*, 1985, 318, 162-163.
2. Makhmanov U.K., et al. Organic Fractal Nano-Dimensional Structures Based on Fullerene C60 // *Fullerenes, Nanotub. Carbon Nanostruct.*, 2019, 27, 273-278.

INCREASING THE EFFICIENCY OF ORGANIC SOLAR CELLS BASED ON P3HT:PCBM AND P3HT:ITIC BY USING PFN

M.Imamov, E.Zakhidov, V.Quvondikov, I.Tajibayev, F.Ruziyev
Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan. e-mail: mximomov@mail.ru

Bulk heterojunction organic solar cells (OSC) have drawn many interests and expected to be promising today as one of the types of solar photovoltaic cells, have attracted a lot of attention due to their unique advantages, lightness and wide capabilities of solution processing of flexible and low cost devices. To date, power conversion efficiency (PCE) has reached 15% in OSCs under optimal conditions and good environmental sustainability [1]. Such results have been achieved due to the flexibility or complementarity of organic polymer solar cells donor-acceptor materials, the results of scientific research on various technological processes used in the manufacture of the device, and such research continues. Challenges to large-scale industrialization of organic solar cells and the need for interlayer auxiliary cathode materials for cathodes to optimize efficient charge transfer from organic solar cells. The most important approaches to increase the PCE of OSC is to increase the interlayer conductivity between the active layer and the electrode (anode or cathode). In particular, there is a lot of scientific experimentation and research being done by scientists around the world to identify and effectively use organic cathode auxiliary materials processed on the basis of p-bonded polymer / small molecule materials. The advantage of organic small-molecule or polymeric materials soluble in solutions compared to inorganic materials based on cathode layer permeability is that they can be prepared in simple, non-vacuum and environmentally friendly processes to form a film during production [2]. The various interlayer materials that is auxiliary for cathodes is poly [(9.9-dioctyl-2.7-fluorine) -alt- (9.9-bis (30 - (N, N-dimethylamino) propyl) -2) , 7-ftoren)] short name is PFN. PFN is successful example for widely using for OSC and have led to a significant improvement in the performance of the devices [3].

For study the properties of the auxiliary material to the PFN cathode the device parameters of OSCs consisted of glass/ITO/ PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/PFN/Al and glass/ITO/PEDOT:PSS/P3HT:ITIC/PFN/Al structures. The Keithley 2420 (USA) voltammeter has used to measure the volt-ampere characteristics of the device parametrs.

Table 1 shows the device parameters of thin layer OSCs prepared from a mixture of P3HT:PCBM and P3HT:ITIC as the active layer. Al was selected as the cathode for the OSCs and the PFN solution was spin coated between the cathode and the active layer (5 nm, 2000 rpm, 20 seconds) via the spin coating method.

Modified contacts with the PFN layer enhance the mobility of electrons from the acceptor phase to the metal cathode and reduce the recombination in the active layer. However, the effect of the PFN thin layer on the performance of the OSC is positive due to the formation of dipoles at the interface with adjacent layers, increasing open circuit voltage in the OSC, improving charge transfer efficiency, and reducing the probability of charge recombination.

Table 1

Device parameters of thin-layer OSCs based on P3HT:PCBM and P3HT:ITIC active layers

Active layer	Kathod	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/sm^2)	FF (%)	PCE (%)
P3HT:PCBM	Al	0,38	3,49	30,97	0,41
	PFN/Al	0,54	4,15	37,18	0,82
P3HT:ITIC	Al	0,55	0,81	39,41	0,17
	PFN/Al	0,61	0,98	46,71	0,28

The results show that the auxiliary layer on the PFN cathode gave the same result in both solar elements, i.e., after the PFN layer was applied, the PCE increased in both OSCs by about 2 times. The PCBM acceptor OSC with a thin layer of PFN has PCE almost 4 times higher than the ITIC acceptor OSC. In conclusion, PFN is found that the interlayer can improve the solar cell performance in multiple ways.

The effect of PFN as an auxiliary layer for the cathode on the performance of the reinforced device is described as follows:

1) increase the potential installed in the devices by creating interface dipoles.
2) improving the transport characteristics of the charge,
3) reduce recombination of charges [4].

The PFN material coating between the active and the cathode layer improve the electron selectivity at the cathode by efficiently blocking holes and has a significant effect on the resulting PCE increase. Summary, OSCs with PFN showed improved device parameters as open circuit voltage (V_{oc}), short-circuit current density (I_{sc}), and fill factor (FF).

1. Yuan J., Zhang Y., Zhou L., Zhang G., Yip H. L., Lau T. K., ... & Zou Y. (2019). Single-junction organic solar cell with over 15% efficiency using fused-ring acceptor with electron-deficient core. Joule, 3(4), 1140-1151.
2. Chen Y., Wang S., Xue L., Zhang Z., Li H., Wu L., ... & Li Y. (2016). Insights into the working mechanism of cathode interlayers in polymer solar cells via [(C 8 H 17) 4 N] 4 [SiW 12 O 40]. Journal of Materials Chemistry A, 4(48), 19189-19196.
3. He Z., Zhong C., Huang X., Wong W. Y., Wu H., Chen L., ... & Cao Y. (2011). Simultaneous enhancement of open circuit voltage, short circuit current density, and fill factor in polymer solar cells. Advanced Materials, 23(40), 4636-4643.
4. Huang J., Li G., & Yang Y. (2005). Influence of composition and heat-treatment on the charge transport properties of poly(3-hexylthiophene) and [6,6]-phenyl C61-butyric acid methyl ester blends. Applied Physics Letters, 87(11), 112105.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ МИКРОПОРОШКА ДИОКСИДА ТИТАНА

И.А.Рахматуллаев[1], М.Х.Давронов[2], О.М.Турсункулов[1], О.ФТукфатуллин[3], М.Р.Рахматуллаев[4], А.К.Курбонов[2]

[1]Центр передовых технологий при Министерстве инновационного развития Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

[2]Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан

[3]Физико-технический институт АН РУз, Ташкент, Узбекистан

[4]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан

e-mail: ilyoss@rambler.ru

Диоксид титана (TiO_2) является широкозонным полупроводниковым материалом с уникальными оптическими свойствами, что делает его актуальным для применения в оптоэлектронике, поскольку сочетает в себе широкую запрещенную зону (3,2 и 3,05 эВ для анатаза и рутила, соответственно), большой показатель преломления, высокие прочностные характеристики и химическую инертность [1]. В литературе [2] сообщается, что трудно наблюдать фотолюминесценцию (ФЛ) для TiO_2 в монокристаллическом состоянии при комнатной температуре, что связано с наличием непрямого перехода. Об исследованиях ФЛ при комнатной температуре в наноструктурированных материалах на базе TiO_2 сообщается в нескольких работах [2-4]. Анализ литературы показал, что в основном изучались образцы TiO_2 в виде монокристаллов или плёнок. Однако, свойства TiO_2 в виде порошков изучены недостаточно. В связи с этим цель настоящего исследования — изучение морфологии и люминесцентных свойств микропорошков TiO_2

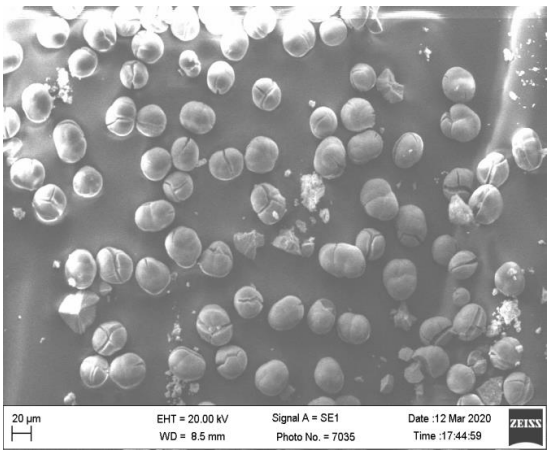


Рис.1. СЭМ-изображение микропорошков TiO_2

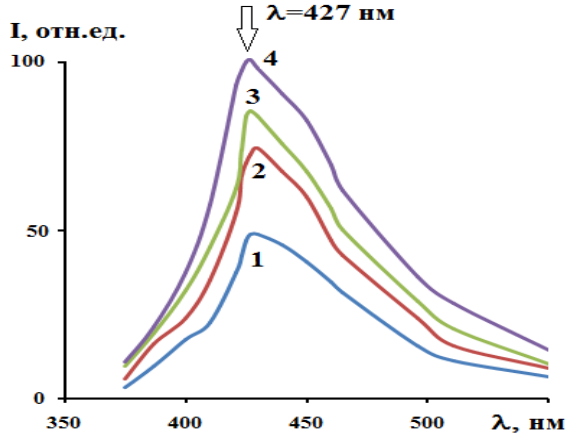


Рис.2. Спектры ФЛ микропорошков TiO_2 различных размеров при их возбуждении ВОГ ($\lambda_{возб}$=255,3 нм) лазера на парах меди: (1) – $d_{ср}$=29 мкм; (2) – $d_{ср}$=40 мкм; (3) – $d_{ср}$=51 мкм; (4) – $d_{ср}$=63 мкм ($I_{возб}$~ 10^7 Вт/см^2).

Микропорошки TiO_2 были у Санкт-Петербургского завода «Красный химик» (марка ОСЧ 7-3). Морфология поверхности и исследование микроструктуры порошков TiO_2 изучались с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM — EVO MA 10 (Carl Zeiss, Германия). Измерения проводились в режиме детектирования вторичных электронов (SED). Далее элементный состав на локальном участке определялся с помощью энергодисперсионнго элементного анализатора марки AZtec (Oxford Instruments, Великобритания). Для регистрации спектров ФЛ использовалась волоконно-оптическая методика, детально описанная в работе [5]. В качестве источника возбуждения использовалась вторая оптическая гармоника (ВОГ) лазера на парах меди ($\lambda_{возб}$=255,3 нм). Анализ с помощью СЭМ показал (рис. 1), что образцы представляют собой образования в виде агломератов сферической формы с поперечными размерами от 29 до 63 мкм и средним размером~46 мкм.

На рис. 2 представлены спектры ФЛ микропорошков TiO_2 различных размеров при их возбуждении ВОГ ($\lambda_{возб}$=255,3 нм) лазера на парах меди. Спектры зарегистрированы при одинаковых условиях возбуждения и регистрации. Этот факт исключает возникновение различий, вызванных методикой. Как видно из рисунка, спектр ФЛ микропорошков TiO_2 находится в диапазоне 360–560 нм и представляет собой достаточно узкую одиночную линию с пиком в области $\lambda_{мак}$= 427 нм (2,91 эВ). Этот максимум можно отнести к рекомбинации свободных экситонов, поскольку он часто наблюдается в различных структурах TiO_2: монокристалле [3], наночастицах [2] и коллоидных наночастицах [4].

1. Чапура О.М., Скоморохов А.А., Беляева Е.Н., Осипов А.Х., Ремаренко Н.С., Яс О.А. Исследование люминесцентных свойств TiO_2:Sm^{3+}, полученного золь-гель методом // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. — 2017. — № 2. — СС. 30–34.
2. Kernazhitsky L., Shymanovska V., Gavrilko T., Naumov V., Fedorenko L., Kshnyakin V., Baran J. Room Temperature Photoluminescence of Anatase and Rutile TiO_2 Powders // Journal of Luminescence. — 2014. — V.146. — P.199–204.
3. Haart L.G., Blasse G. The Observation of Exciton Emission from Rutile Single Crystals // Solid State Chemistry. — 1986. — V.61. — P. 135–137.
4. Serpone N., Lawless D., Khairutdinov R. Size Effects on the Photophysical Properties of Colloidal Anatase TiO_2 Particles: Size Quantization versus Direct Transitions in This Indirect Semiconductor?// Journal of Physical Chemistry. — 1995. — V.99. — P.16646–16654.
5. Рахматуллаев И.А., Горелик В.С., Тукфатуллин О.Ф., Турсункулов О.М., Рахматуллаев М.Р., Курбонов А.К. Структурные и люминесцентные свойства микропорошков оксида цинка // Мат. V Межд. конф. «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых микро- и наноструктурах», 13-14 ноября 2020 года. – Фергана. – С.98-100.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОПОРОШКОВ САПФИРА

О.М.Турсункулов[1], **И.А.Рахматуллаев**[1], **О.Ф.Тукфатуллин**[2], **М.Р.Рахматуллаев**[3], **А.К.Курбонов**[4], **М.Х.Давронов**[4]

[1]*Центр передовых технологий при Министерстве инновационного развития Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан*

[2]*Физико-технический институт АН РУз, Ташкент, Узбекистан*

[3]*Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан*

[4]*Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан*

e-mail: ilyoss@rambler.ru

В настоящее время одним из перспективных направлений развития современной микро- и наноэлектроники является создание приборов и структур «кремний на изоляторе» [1,2]. Сапфир (α-Al_2O_3), являющийся широкозонным оксидом ($E_g \approx 9$ эВ), в данное время широко применяется в науке и электронной технике благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам. Он обладает высокой термической (температура плавления — 2050 °C), механической (твёрдость по шкале Мооса — 9) и химической (не растворяется в кислотах и щелочах до 300 °C) стойкостью [3]. В последние годы для альтернативного сырьевого материала предлагается поликристаллический сапфир, получаемый методом гарниссажной плавки оксида алюминия [4].

Морфология поверхности и исследование микроструктуры порошков оксида алюминия осуществляли с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM — EVO MA 10 (Carl Zeiss, Германия). Составы порошков определялись с помощью энергодисперсионного элементного анализатора марки EDX (Oxford Instrument, Великобритания) — Aztec EnergyAdvanced X-act SDD. Эксперименты на сканирующем электронном микроскопе проводились следующим образом. Для проведения процесса пробоподготовки, на предметный столик микроскопа устанавливался держатель из металлического сплава, поверх которого приклеена алюминиевая фольга с двухсторонней клейкой поверхностью. На эту фольгу наносились исследуемые порошки, после чего предметный столик устанавливался в рабочую камеру микроскопа, из которой откачивался воздух для создания вакуума. Для проведения измерения на филамент подавалось ускоряющее напряжение 20 кВ. При этом рабочее расстояние составляло 8,5 мм. Изображения были получены в масштабе 2–100 мкм с помощью программного обеспечения SmartSEM.

Из рассмотрения СЭМ-изображений образцов (рис. 1) видно, что порошки содержат агломераты различных вытянутых форм с широким распределением по размерам (6,26–14,07 мкм). Основная фракция — 6,26–

10,9 мкм, однако, в небольшом количестве кристаллы достигают размера12,98–14,07 мкм. Средний размер исследованных образцов составлял 10 мкм.

Результаты анализа элементного состава образцов приведены на рис. 2. Содержание примесей в исследуемом порошке Al_2O_3 характеризовалось следующими значениями входящих компонентов в массовых долях (%): Si— 6,3; Ca— 0,6; K— 0,2.

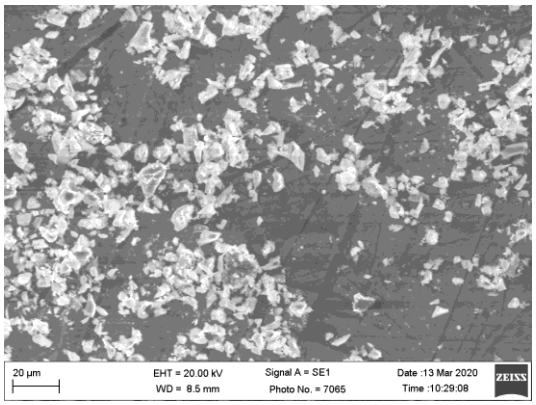


Рис. 1. СЭМ-изображение микропорошков сапфира.

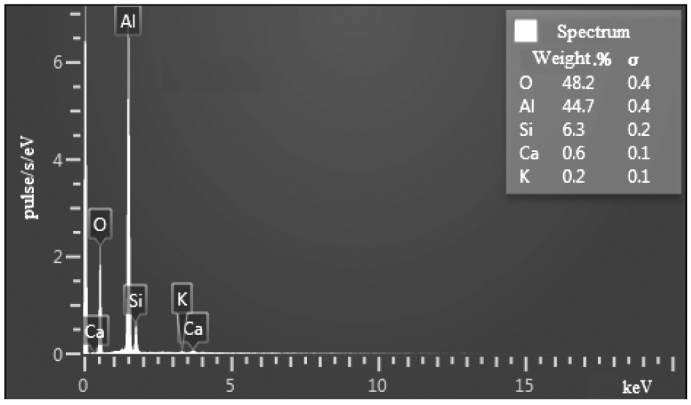


Рис. 2. Элементный состав микропорошков сапфира.

Таким образом, в работе проведён анализ микропорошков сапфира с применением сканирующей электронной микроскопии. Изучены морфологические и структурные свойства микропорошков сапфира. Полученные результаты в дальнейшем могут найти применение при разработке методики получения и изучении физических свойств порошков подобных структур.

1. Горшков О.Н., Тетельбаум Д.И., Михайлов А.Н. Наноразмерные частицы кремния и германия в оксидных диэлектриках. Формирование, свойства, применение. Учебно-методический материал. ННГУ, Нижний Новгород. – 2006. – 83 с.
2. Светлов С.П., Чалков В.Ю., Шенгуров В.Г. и др. Структурные и фотолюминесцентные свойства гетероэпитаксиальных слоев кремния на сапфире // ФТТ. – 2004. – Т.46(1). – С.15.
3. Ананченко Д.В., Никифоров С.В., Рамазанова Г.Р. и др. Люминесценция дефектов *F*-типа и их термическая стабильность в сапфире, облученном импульсными ионными пучками // Оптика и спектроскопия. – 2020. – Т.128(2). – С.211-217.
4. Данчевская М.Н., Ивакин Ю.Д., Багдасаров Х.С. и др. Синтетический мелкокристаллический корунд – новое сырьё для выращивания лейкосапфира // Перспективные материалы. – 2009. – Т.4. – С.28-33.

STUDY OF OPTICAL PROPERTIES OF FULLERENE SOLUTION IN XYLENE

A.M. Kokhkharov, U.K. Makhmanov, Sh.A. Esanov, B.A. Aslonov, B.A. Sindarov, Z. Bekmurodov

Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Uzbekistan Academy Sciences, 33 Durmon Yuli St., 100125 Tashkent, Uzbekistan; urol_m@mail.ru

Abstract: The dynamics of changes in the values of the refractive index of solutions of C_{60} in xylene at various concentrations has been studied by the refractometric method. It was found that the deviation from the linear form of the dependence of the refractive index on the C_{60} concentration occurs at a C_{60} concentration of ~1.8 mg/ml. The deviation is associated with the largest number of molecular interactions between "C_{60}–C_{60}" and the formation of large nanoclusters on their basis in solution.

Keywords: Fullerene C_{60}, fresh solution, refractometer, nanostructure, cluster formation, xylene.

Allotropes of carbon nanostructured materials such as fullerenes, graphene, carbon nanotubes, and carbine have generated a lot of interest due to their chemical and physical properties. Each allotrope exhibits different properties depending on its carbon structure and size. According to carbon hybridization, graphene, fullerenes, and carbon nanotubes have sp^2-hybridized carbon atoms [1]. Fullerenes C_n (n= 60, 70) have a quasi-spherical shape of carbon allotropy and were discovered as a result of laser evaporation of graphite with the help of Kroto's group in 1985 [2], which received the Nobel Prize in 1996 for this discovery. The most stable Buckminsterfullerene C_{60} is soluble in many non-polar organic solvents. At the same time, non-polar solvents such as toluene, o-xylene, carbon disulfide, dichlorobenzene, etc., are commonly used to recover fullerene (C_{60}) from freshly prepared carbon black after the synthesis process. C_{60} fullerene exhibits unique optical properties that have high potential for wide photooptical applications.

In the experiments, we used fullerene C_{60} powder (SES Research, USA) with a purity of less than 99.8% and an organic solvent – xylene of analytical purity from Sigma Aldrich (USA).

The refractive indices of C_{60} fullerene solutions were determined using an Atago PAL-BX/RI digital refractometer (Atago, Japan) with a measurement error of <0.0001. The measurements are carried out at ~589.3 nm, the wavelength of the atomic sodium D_1-line. For the refractive index measurements, C_{60} solutions in xylene were prepared in a concentration range of ~0.4÷3.0 mg/ml. For this, the previously weighed mixtures "C_{60}-xylene" were mechanically stirred in a laboratory magnetic stirrer "Vortex Dlab MX-S" for 0.5 h at a temperature of ~22±1ºC.

The dependence of the experimental refractive indices of fresh prepared solution of fullerene C_{60} in xylene on the concentration of the solute is shown in Figure 1. The change in the value of the refractive index of the solution with an

increase in the concentration of the solute should be dependent on the degrees of intermolecular interactions "C_{60}–C_{60}" and "C_{60}–xylene". It can be seen that in the concentration range of fullerene C_{60} in a solution of ~0.4÷1.6 mg/ml, the value of the refractive index of the solution increases linearly. In our opinion, in this case, both "C_{60}-C_{60}" and "C_{60}-xylene" intermolecular interactions occur in the solution. As a result, a xylene molecule forms a layer around C_{60} molecules in solution, and ultimately small mC_{60} nanoclusters are synthesized on their basis (where m - is the number of C_{60} molecules in nanocluster).

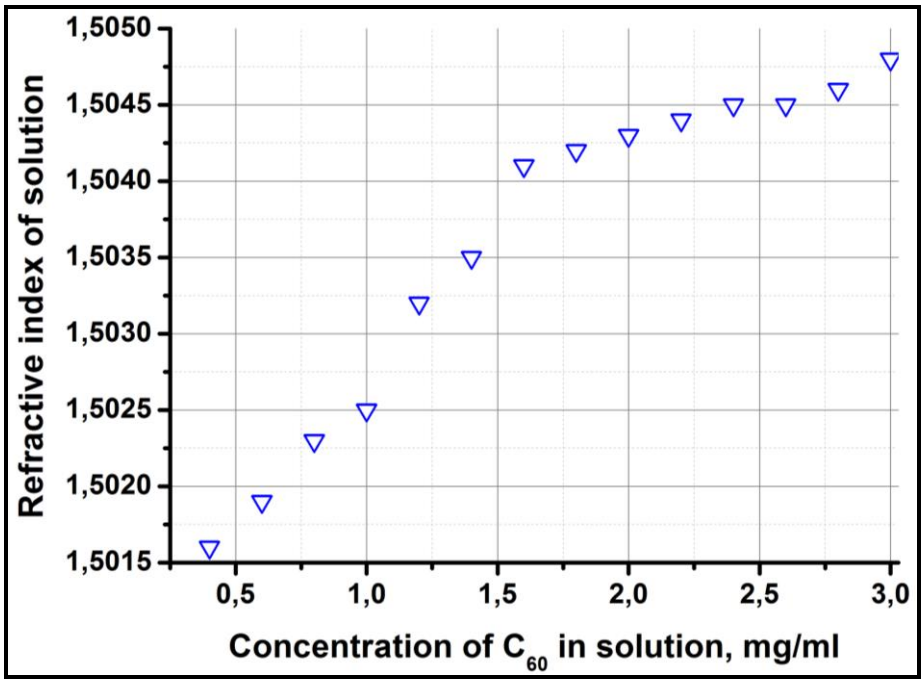


Figure 1. Dependence of the refractive index of a fresh solution of C_{60} in xylene on the concentration of C_{60} in the solution

However, it can be seen from the figure that starting with a concentration of C_{60} in a solution of ~1.8 mg/ml, the angle of the dependence line decreases markedly. This indirectly shows that in the concentration of C_{60} in solution from ~1.8 mg/ml to ~3.0 mg/ml intermolecular interactions "C_{60}–C_{60}" are enhanced. The latter lead to the formation of rather large mC_{60} nanoclusters only on the basis of the C_{60} fullerene [3].

The used high precision method and obtained us experimental results can be used to analyze the character of the "solvent–solute" interaction in a wide range of practical applications in nanochemistry and nanophysics.

1. Falcao E.H., Wudl F. J. Chem. Technol. Biotechnol., 2007, 82(6), 524-531.
2. Kroto H.W., Heath J.R., O'Brien S.C., Curl R.F., Smalley R.E. Nature, 1985, 318, 162-163.
3. Makhmanov U.K., Kokhkharov A.M., Bakhramov S.A., Erts D. Lithuanian Journal of Physics, 2020, 60 (3), 194–204.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ НАНОКОМПОЗИТА ИССКУСТВЕННЫЙ ОПАЛ – ОРГАНИЧЕСКИЙ ПОЛИМЕР С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ СВОЙСТВАМИ

З.Ш.Шаймарданов[1,2], Ш.З.Уролов[1], Р.Р.Жалолов[1]
[1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз
[2]Национальный Университет Узбекистана; zshaymardanov@mail.ru

В последнее годы проявляется повышенный интерес к исследованиям нанокомпозитов, полученных на основе органических и неорганических материалов. Исследования люминесцентных характеристик нанокомпозитов, созданных на основе искусственного опала [1-2], пористого кремния [3], пористого оксида алюминия [4] и других твердотельных структур, дали много интересных результатов. Нанокомпозиты органических материалов на основе твердотельных матриц помогли понять взаимодействие молекул органического материалы между собой и молекулами матрицы, и как эти взаимодействия влияют на свойства люминесценции органического материалы и матрицы.

В работе обсуждаются результаты исследования люминесцентных характеристики нанокомпозита Опал: P3HT. Для получения нанокомпозитов использованы образцы искусственного опала, состоящих из шаров с диаметром ~240 нм диоксида кремния. Матрица искусственных опалов имеет очень удобную структуру для формирования твердых нанокомпозитов. Как показали исследования, на спектр люминесценции опала сильное влияние оказывают и вещества, введенные в его поры. Обнаружено, что под воздействием N_2-лазера нанокомпозит Опал:P3HT имеет сильную люминесценцию в районе 550 нм и 620 нм, связанную с полимером. Она в десятки раз интенсивнее собственной люминесценции искусственного опала (на рис. 2 кривая (2)).

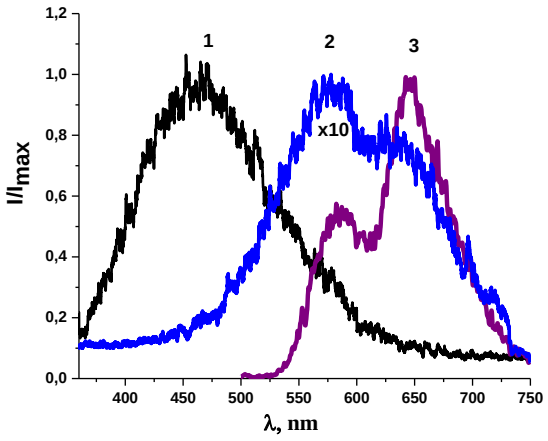


Рис.2. Спектры люминесценции опала до (1), после введения полимера P3HT из спиртового раствора (2) и спиртового раствора полимера P3HT при концентрациях: 1 мг/мл. Спектры нормированы самостоятельно по своим максимумам.

Ранее нами было обнаружено [5,6], что в искусственном опале под воздействием излучения N_2-лазера наблюдается люминесценция, спектр которой содержит максимум в районе ~400 и ~500 нм и спектр занимает область от линии возбуждения до ~700 нм. Она состоит из нескольких полос в районе 400 и 500 нм, которые идентифицируются с объемными и поверхностными центрами свечения, соответственно (на рис. 2 кривая (1)). Спектры люминесценции полимера P3HT, пропитанного спиртовым раствором концентрацией 1 мг/мл состоят из двух полос с максимумами 550 нм и более интенсивной 620 нм (на рис. 2 кривая (3)). Проведенные исследование показали, что в спектре люминесценции нанокомпозита Опал:P3HT, интенсивность коротковолновой полосы люминесценции (550 нм), характерной для молекул мономера выше, чем в длинноволновой полосе люминесценции (620 нм), обусловленной большими агрегациями молекул полимера. При введении полимера подавляется собственная люминесценция опала, обусловленная поверхностными и объемными центрами свечения.

Мы предполагаем, что с испарением растворителя молекулы красителя, находящиеся в приграничных областях, начинают взаимодействовать с силаноловыми группами и разорванными поверхностными связями на поверхности шаров диоксида кремния, в результате чего фиксируются и стабилизируются мономеры на поверхности шаров. Другими словами маленькие размеры пор опала (примерно от 45 нм до 120 нм) не позволяют образоваться большим агрегациям полимера. Полученные результаты указывают на существование сильного взаимодействия между молекулами полимера и дефектными центрами поверхности шаров диоксида кремния, образующих опал. Этот процесс сопровождается подавлением свечения дефектных центров опала в видимой области. В то же время молекулы, находящиеся внутри затвердевшего красителя, из-за наличия сил взаимного отталкивания одно именно заряженных мономеров могут образовать рыхлую структуру, преимущественно состоящую из мономеров. Полученные результаты позволяют прогнозировать спектральные свойства нанокомпозитов, создаваемых на базе искусственных опалов и открывают новые возможности в исследовании люминесцентных характеристик веществ.

1. Яников М.В., Вейсман В.Л., и др.//Вестник Псковского государственного университета. Серия "Естественные и физико-математические науки". 2013. Вып. 3. – С. 165-169.
2. Алексеева Н.О., Вейсман В.Л., и др.//Нанотехника. 2008. № 4 (16). – С. 9-11.
3. H. Elhouichet, M.Oueslati, Materials Science and Engineering B 79, 27 (2001).
4. I.A. Levitsky, J. Liang, and J.M. Xu, Appl. Phys. Lett. 81, 1696 (2002).
5. Kurbanov S.S. Shaymardanov Z.Sh. и др. Journal of Physica B: Physics of Condensed Matter. 2008,–Vol.403, № 10,– pp. 1916-1921.
6. Shaymardanov Z.Sh., Kurbanov S.S., и др. Journal of Optics and Spectroscopy 2016, –Vol. 120, No. 6.– pp. 922-925.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЗАСУХИ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА РАСТЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА

Э.А.Захидов[1], В.О.Кувондиков[1], Ш.К.Нематов[2], Ф.М.Рузиев[1], И.И.Бойназаров[1], А.А.Матчанова[1]

[1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз,
[2]Ташкентский государственный технический университет
e-mail: vahobjon@yandex.com

Примерно одна треть мировых пахотных земель страдает от хронически недостаточной водной обеспеченности сельского хозяйства. Поэтому, увеличение возможностей адаптации основных сельскохозяйственных культур и создание их засухоустойчивых генотипов являются одной из крупнейших научных и экономических задач для нашего региона. Для изучения воздействия засухи фотосинтетическая активность растений оказалась очень информативным показателем, из-за ее чрезвычайной чувствительности к экологическим стрессам. Кроме классических измерений фотосинтеза анализом газообмена, изменения флуоресценции хлорофилла стали широкоиспользуемым методом для изучения функционирования фотосинтетического аппарата [1] и являются мощным инструментом исследования отклика растения на стресс [2].

Функционирование фотосинтетического аппарата хлопчатника (Порлок-4), выращенного в условиях водной ограниченности, изучено методами флуоресценции хлорофилла с целью определения механизмов адаптации фотосинтетического аппарата к условиям засухи. Для этого, хлопчатник был выращен в полевых условиях хорошего орошения, а также засухи. Параметры флуоресценции хлорофилла были измерены с помощью флуориметр MINI-PAM (Walz, Германия).

Наступление водного дефицита влияло на кривые световой зависимости квантовой эффективности фотохимии в ФС II, $Ф_{ФСII}$ (рис. 1.А). При низкой освещенности, $Ф_{ФСII}$ была выше в «стрессовом» растении, чем в контрольном. Нефотохимическое тушение *NPQ* увеличивается с ростом интенсивности света (рис. 1.Б). Это увеличение было значительно сильнее в «стрессовом» хлопчатнике по сравнению с контрольным. Такое различие наблюдалось и в квантовой эффективности $Ф_{ФСII}$, но, в меньшей степени (рис. 1.А).

В наших экспериментах не обнаружено значительных неоднородностей $Ф_{ФСII}$ в листьях ни «стрессового», ни контрольного образца хлопчатника. Светозависимое нефотохимическое тушение является очень важным энергетическим механизмом для быстрой адаптации фотосинтетического аппарата к колебаниям интенсивности света с тем, чтобы предотвратить накопление реактивной формы (синглетного) кислорода [3].

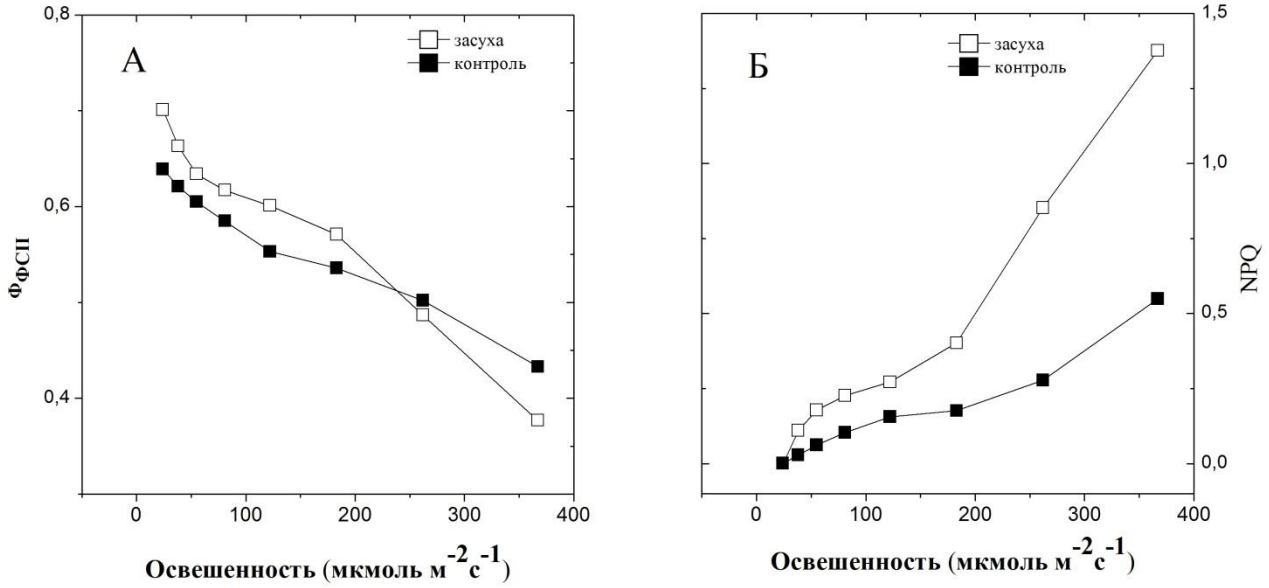


Рис.1. Зависимости параметров флуоресценции хлорофилла, $\Phi_{ФСII}$ (А) и NPQ (Б) от плотности потока фотонов, в листьях контрольного (закрашенные символы) и «стрессового» (открытые символы) образцов хлопчатника, измеренные в полевых условиях. Каждое значение указанных параметров усреднено по четырем повторным измерениям

Таким образом, при водном дефиците в хлопчатнике фотосинтетический транспорт электронов способствует поддержке высокой эффективности открытых РЦ ФСII. Наши результаты показывают, что хлопчатник реагирует на наступление водного дефицита путем увеличения скорости фотодыхания для того, чтобы предотвратить чрезмерное накопление энергии светового возбуждения и, следовательно, образование синглетного кислорода.

1. K. Maxwell, G.N. Johnson, Chlorophyll fluorescence e a practical guide, Journal of Experimental Botany 51 (2000) 659-668.
2. Y. Fracheboud, J. Leipner. Practical Applications of Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003, pp. 125-150.
3. A Massacci, SM Nabiev, L Pietrosanti, SK Nematov et.all. Plant physiology and biochemistry 46 (2), 189-195

USE OF ZINC OXIDE NANORODS IN THE TREATMENT OF WASTEWATER FROM DYES

R.R. Jalolov, B.N. Rustamova, Z.Sh. Shaymardanov, Sh.Z. Urolov
Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of the Academy of Sciences of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan; jalolovrivojiddin@gmail.com

Nowadays, the demand for clean water in the world is growing day by day. But clean water has become a global problem in the current context. Organic compounds of natural and artificial origin, such as hydrocarbons, polychlorinated biphenyls, fertilizers and pesticides, are constantly released into the environment as industrial and agricultural wastes. About one million tons of synthetic organic dyes are produced annually for use in the textile, dye and varnish, cosmetics and food industries [1]. Most of these organic dyes in wastewater are dumped into rivers and seas. Cleaning them from these effluents is critical to environmental sustainability. Most of the industrial wastewater pollutants are removed by treatment plants using various treatment technologies - filtration, biotechnological methods, etc., which are relatively efficient and safe in wastewater treatment. However, these technologies are ineffective against biologically toxic and non-degradable organic compounds. Photocatalytic oxidation is one of the new and effective methods used to remove and neutralize organic contaminants from water. Therefore, the use of semiconductor photocatalysts to generate free radicals to activate the oxidation of organic compounds is one of the most promising technologies to implement a cheap and energy-saving method of water purification [2].

Zinc oxide (ZnO) is a n-type semiconductor material with a wide bandwidth (3.37 eV) and high-temperature exciton binding energy (60 meV) at room temperature. Because of these unique properties, ZnO nanostructures, such as nanorods, nanofibers, and nanoribons have recently become the focus of researchers [3]. At present, various methods have been developed for the synthesis of these ZnO nanostructures. It is customary to refer to hydrothermal synthesis as a method of obtaining various inorganic compounds by chemical reactions in closed systems occurring in aqueous solutions at temperatures above 100 ^{0}C and pressures above 1 atm.

In this work, ZnO nanorods were synthesized through hydrothermal route. The growth procedure was designed as follows: the aqueous solutions of zinc nitrate hexahydrate ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) and hexamethylenetetramine ($C_6H_{12}N_4$) were first prepared separately and then they were mixed together. The resulting solution was poured into a Teflon – lined stainless steel autoclave. The substrates with the ZnO seeding layer were placed into the autoclave. At the end of stage, the autoclave was closed and put into the water thermostat bath. The hydrothermal reaction was carried out at 90°C for 5 hours. The photocatalytic effect of ZnO nanorods synthesized on the surface of a stainless steel mesh was studied by changing the optical density of an

aqueous solution of the organic dye COLRON BLACK SD (CBSD) due to decomposition under the influence of UV radiation. An aqueous solution of CBSD with a concentration of 20 mg / L was irradiated using a DRSh-120 high-pressure mercury lamp in a quartz cuvette with constant stirring. An experimental setup was used to study the transmission spectra, where the transmission spectra were measured by the lock-in amplifier. The setup consists of an MDR-23 high-aperture monochromator, a PMT-100 high-sensitivity photodetector, and a synchronous detector. A halogen lamp was used as a radiation source.

The synthesized ZnO nanorods exhibit strong exciton luminescence, indicating that ZnO nanorods have a good crystalline structure [4]. Fig.1 shows optical density spectra of the dye recorded after UV irradiation at different times: a-0 min., b- 60 min. without ZnO, c-30 min. with ZnO, d- 60 min. with ZnO. It was observed that the maximum absorption spectrum of CBSD dye is approximately 600 nm at wavelength. The analysis of the absorption spectra shows that the maximum absorption spectrum of the solution was reduced by 10% when exposed to ultraviolet light for 60 minutes. When the dye solution was irradiated with nanorods for 30 and 60 min, the absorption spectrum of the dye molecule was reduced by a maximum of about 60 and 80 % respectively.

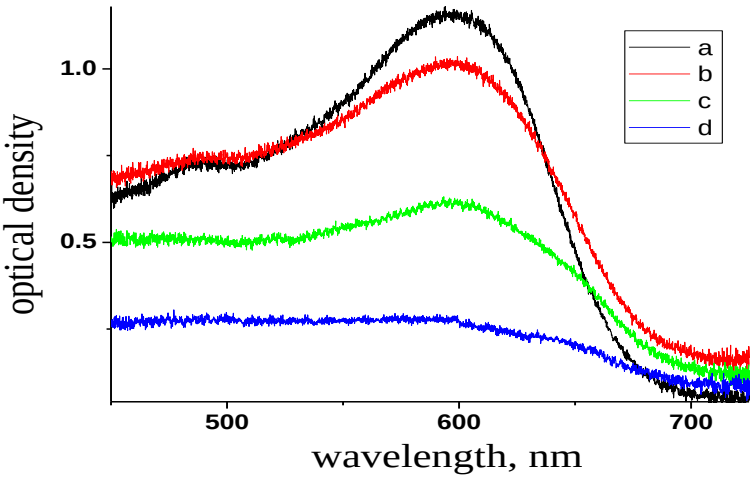


Fig.1 Optical density spectra of the dye after UV irradiation at different times.

The synthesized ZnO nanostructures were found to act as photocatalysts in the decolorization of aqueous solutions of organic dyes under the influence of ultraviolet radiation.

1. F. M. D. Chequer, G. A. R. de Olivera, E. R. A. Ferraz, J. C. Cardoso, M. V. B. Zanoni, and D. P. de Olivera, Eco-friendly Textile Dyeing and Finishing, chapter 6, InTech, 2013.
2. Tong H., Ouyang S., Bi Y., Umezawa N., Oshikiri M., Adv Mater. 24, 229–251(2012).
3. Ü. Özgür, Ya.I. Alivov, C. Liu, etc., J. Appl. Phys. 98, 041301 (2005).
4. R.R. Jalolov, Sh.Z. Urolov, Z.Sh. Shaymardanov, S.S. Kurbanov, B.N. Rustamova, Materials Science in Semiconductor Processing. 128, 105783 (2021)

ФИЛЬТРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ DWDM С ПОМОЩЬЮ ДВОЙНОЙ ВОЛОКОННОЙ ПЕТЛЕ

А.А.Саидкулова

Националный Университет Узбекистан, Ташкент.

Оптическая сеть с плотным спектром длин волн (DWDM) считается экономичный и эффективный способ удовлетворения будущей потребности в увеличении пропускной способности системы связи. Периодические оптические гребенчатые фильтры являются ключевыми компонентами в оптических системах DWDM, поскольку они могут использоваться для обработки оптического сигнала и изоляции сигналов соседнего канала для уменьшения перекрестных помех. Поэтому в последние годы гребенчатые фильтры привлекли большое внимание. В частности, гребенчатые фильтры изготовленной из волокна имеют такие преимущества, как низкие вносимые потери, низкая стоимость и хорошая совместимость с системами волоконной связи [1].

В данной работе мы изучали поляризационно-независимый многофункциональный гребенчатый фильтр с использованием двойной волоконной петли с разным коэффициентом ответвления. Для управления спектром гребенки не требуется никакого поляризационно-зависимого устройства, что делает поляризацию такого гребенчатого фильтра независимой и эффективной конструкцией. Просто регулируя отношения связи ответвители, разность фазы, может быть эффективно обнаружено интегрированной гребенчатый фильтр. Функция передачи выходных портов определяется как [2]:

$$T_{1вых} = \left|E_{1вых}\right|^2 = \left[4c_1^2c_2\left(1-c_2\right)+4c_2\left(1-c_1\right)^2\left(1-c_2\right)+4c_1\left(1-c_1\right)\left(1-2c_2\right)^2\right]+$$

$$+8c_1\left(1-2c_1\right)^2\left(1-2c_2\right)\times\sqrt{c_1c_2\left(1-c_1\right)\left(1-c_2\right)}\cos\phi-8c_1c_2\left(1-c_1\right)\left(1-c_2\right)\cos 2\phi$$

$$T_{2вых} = 1-T_{1вых} \qquad (1)$$

Основываясь на уравнению (1), теоретическое анализированы спектры пропускания выходного порта 1. Здесь в расчетах используются $n=1,46$ и $\Delta L = 2$ мм, что указывает на то, что расстояния между каналами как 0,4, так и 0,8 нм могут быть получены из предложенного гребенчатого фильтра. На рисунке 1 представлена эволюция перестраиваемой операции с интервалом между каналами. Расстояние между каналами составляет 0,4 и 0,8 нм на рис.1 (а) и на рис 1 (б) соответственно. Когда интервал между каналами настроен на 0,8 нм, мы зафиксировали коэффициент связи и только что изменили коэффициент связи от (от 0,11 до 0,89), и получены результаты с многоволновым переключением с расстоянием между каналами 0,8 нм, как показано на рисунке 1 (б).

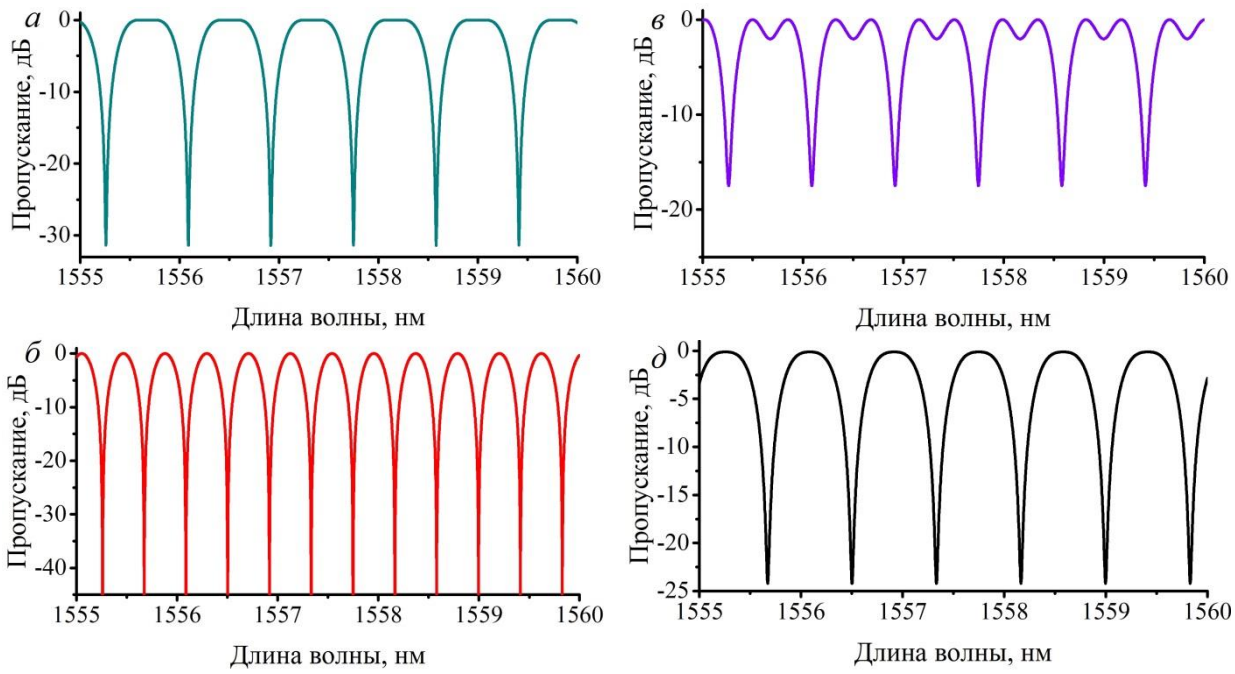


Рис.1. Спектры пропускание гребенчатого DWDM фильтра на основе двойной петли с разними характеристиками

Полученные экспериментальные данные показывают, что данный гребенчатый фильтр полностью удовлетворяет требование несколько DWDM-каналов согласно стандарту ITU в С-диапазоне с шагом 100ГГц. (таблица 1).

Таблица 1

Список некоторых каналов в С-диапазоне с шагом 0,8 нм.

Канал	**Длина волны, нм**	**Канал**	**Длина волны, нм**
17	1563.86	40	1545.32
18	1563.05	41	1544.53
19	1562.23	42	1543.73
20	1561.42	43	1542.94
21	1560.61	44	1542.14
22	1559.79	45	1541.35
23	1558.98	46	1540.56
24	1558.17	47	1539.77
25	1557.36	48	1538.98
26	1556.55	49	1538.19
27	1555.75	50	1537.40

1. G.P.Agrawal. Application of nonlinear Fiber Optics, 5th ed. Elsevier, 2012.
2. Zakhidov E.A., Nematov Sh.K., Tajibaev I.I. All-fiber source of broadband light with modulated spectrum based on twin - core fiber // Journal of Lightwave Technology. USA, 2016. –Vol. 34, –No. 13, p.3126-3130

АНИЗОТРОПИЯ ФОТОУПРУГОГО ЭФФЕКТА В КРИСТАЛЛАХ НИОБАТА ЛИТИЯ

Ф.Р.Ахмеджанов, У.Ш.Абдирахмонов, В.Н.Авдиевич
Институт Ионно-плазменных и лазерных технологий Академии наук Республики Узбекистан. Ташкент, Узбекистан;
akhmedzhanov.f@gmail.com

Одним из универсальных методов изучения упругих и фотоупругих свойств материалов являются акустооптические методы, основанные на Брэгговской дифракции света на акустических волнах [1]. Известно, что интенсивность дифрагированного света определяется эффективной фотоупругой константой p_{eff}, значение которой может быть получено с помощью формул преобразования компонент тензора фотоупругости, являющимся тензором четвертого ранга. В результате, можно получить следующее выражение для эффективной фотоупругой константы [2]:

$$p^2_{\text{эфф}}=(\chi_1 p_2-\chi_2 p_1)^2+(\chi_1 p_3-\chi_3 p_1)^2+(\chi_2 p_3-\chi_3 p_2)^2 \quad (1)$$

где χ_j – направляющие косинусы волнового вектора дифрагированного света, p_i – значения компонент вектора поляризации света

В настоящей работе исследована анизотропия фотоупругого эффекта в кристаллах ниобата лития. Несмотря на то, что компоненты тензора фотоупругости этих кристаллов определены во многих работах, анизотропия эффективной фотоупругой константы до сих пор полностью не исследована, а в имеющихся публикациях имеются неточности [3].

Исследованные образцы ниобата лития были ориентированы вдоль осей [100] и [001]. Измерения выполнялись методом Брэгговской дифракции света [1] на акустических волнах с частотами 400–1200 МГц, которые возбуждались кварцевыми пьезодатчиками X и Y - среза. Источником света служил гелий-неоновый лазер (λ_0=632.8·нм). Направление поляризации падающего света, относительно поляризации акустической волны, определялось с помощью поляризационного анализатора.

Для определения эффективных фотоупругих констант использовался модифицированный метод Диксона-Коэна, в котором акустические волны возбуждаются как со стороны эталонного образца, так и со стороны исследуемого образца [4]. В качестве эталона использовался образец плавленого кварца. Значения эффективных фотоупругих констант при различных геометриях Брэгговской дифракции света определялись из соотношения [5]:

$$\left[\frac{p^2_{эфф} n^6}{\rho V^3}\frac{n^2}{(n+1)^4}\right]_x=\left[\frac{p^2_{эфф} n^6}{\rho V^3}\frac{n^2}{(n+1)^4}\right]_э\left(\frac{I_{1x} I_{2x}}{I_{1э} I_{2э}}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где ρ – плотность кристалла; n – показатель преломления света; V – скорость акустической волны, I_{1x} и $I_{1э}$ – интенсивности света, дифрагированного соответственно в образце и эталоне, при распространении акустической волны

из образца в эталон; в то время как I_{2x} и $I_{2э}$ – интенсивности света, при распространении акустической волны из эталона в образец.

Значения скорости акустических волн определялись по углу Брэгговской дифракции света на этих волнах с точностью примерно 0.2% [1]. Значения остальных величин необходимые для расчета брались из работы [3]]. Точность определения величины M_2 по отношению к эталону составляла около 20%. На рис. 1 приведена ориентационная зависимость эффективной фотоупругой константы для поперечных волн, распространяющихся в плоскости (100). Направление поляризации света было перпендикулярно направлению распространения звука. Видно, что эффективная фотоупругая константа изменяется от нуля до максимального значения, когда волновой вектор света направлен вдоль оси [110].

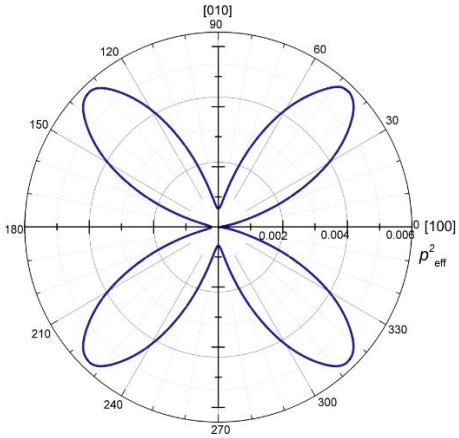


Рис.1. Зависимость эффективной фотоупругой константы для поперечных акустических волн вдоль [001] от направления волнового вектора света.

Полученные результаты по анизотропии фотоупругого эффекта могут быть полезны при применении кристаллов ниобата лития для измерения частоты акустических волн на основе явления акустической активности и для преобразования сигналов в оптических и оптоволоконных линиях связи.

1. E. Dieulesaint, D. Royer, Elastic waves in solids. Application for treatment of signals. Moscow: Nauka; 1982.
2. A.S. Andrushchak, B.G. Mytsyk, H.P. Laba, at.el. Complete sets of elastic constants and photoelastic coefficients of pure and MgO-doped lithium niobate crystals at room temperature. J. Appl. Phys, Vol. 106, 2009, pp. 073510 (1-6).
3. M. Jazbinsek and M. Zgonik. Material tensor parameters of LiNbO3 relevant for electro- and elasto-optics. J. Appl. Phys. Vol. B74, 2002, pp. 407-412.
4. A. Erba, R. Dovesi. Photoelasticity of crystals from theoretical simulations. Phys. Rev, Vol. B88, 2013, pp. 045121.
5. R.W. Dixon, M.G. Cohen. A new technique for measuring magnitudes of Photoelastic Tensors and its Application to Lithium Niobate. Appl. Phys. Letter, Vol. 8, 1966, pp. 205-207.

СТАЦИОНАРНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ИМПУЛЬСЫ В СРЕДАХ С ВЫСШИМИ ДИСПЕРСИЕЙ И НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ

Э.Н.Цой, Л.А.Суюнов

Физико-технический институт АН РУз, Ташкент, Узбекистан;
e.n.tsoy@gmail.com, lasuyunov@gmail.com

Известно, что зависимость показателя преломления от частоты приводит к дисперсии. При рассмотрении динамики оптических импульсов в волноводах обычно ограничиваются квадратичной дисперсией. Дисперсия групповой скорости приводит к расплыванию импульсов. Кубическая нелинейность может сбалансировать дисперсионное расплывание, приводя к образованию устойчивых оптических импульсов, солитонов [1].

Для частот близких к нулю квадратичной дисперсии становятся важными члены дисперсии высших порядков. Недавно, теоретически и экспериментально было показано [2], что баланс между дисперсией четвертого порядка и кубической нелинейностью также дает устойчивые оптические импульсы. Соответствующая модель имеет вид [1,2]

$$i\frac{\partial\psi}{\partial z}-\frac{\beta_2}{2}\frac{\partial^2\psi}{\partial\tau^2}+\frac{\beta_4}{24}\frac{\partial^4\psi}{\partial\tau^4}+\gamma|\psi|^2\psi=R[\psi],$$

где $\psi(\tau, z)$ – огибающая электромагнитного поля, β_2 и β_4 характеризуют дисперсию второго и четвертого порядков, соответственно, γ – параметр керровской нелинейности, $R[\psi]$ описывает дополнительные эффекты.

В работе [3] найдены точные решения при $R[\psi] = 0$, которые становятся неприменимы в пределе $\beta_2 \to 0$. В работе [2] численно изучен случай $\beta_2 = R[\psi] = 0$. В настоящей работе исследуются стационарные импульсы модели при наличии эффектов высших порядков. Используются методы динамических систем, в частности анализа гомоклинических траекторий, для нахождения параметров стационарных волн. В пространстве параметров системы найдены области существования светлых и темных солитонов. Также найдены области устойчивости стационарных волн. Результаты могут быть полезными для генерации устойчивых оптических импульсов в средах с высшей дисперсией.

1. Ю. С. Кившарь, Г. П. Агравал, *Оптические солитоны* (М. 2005).
2. A. Blanco-Redondo et al, Nature Commun. Vol.7 (1), 10427 (2016).
3. M. Karlsson and A. Hook, Opt. Comm. Vol.104, 303 (1994).

АНИЗОТРОПИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ЗАТУХАНИЯ В КУБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ ФТОРИДА ЛИТИЯ

Ф.Р. Ахмеджанов, Ж.О. Курбанов
Институт Ионно-плазменных и лазерных технологий Академии наук Республики Узбекистан. Ташкент
akhmedzhanov.f@gmail.com

LiF, ионный кристалл (точечная группа симметрии m3m), является химически стабильным, оптически прозрачным с электронной запрещенной зоной 14 эВ и имеет высокую температуру плавления [1]. Он широко используется в качестве подложки в микроэлектронике. В приборах с ячейками с алмазными наковальнями LiF используется как среда, передающая давление [2]. В различных экспериментах он широко используется в качестве материала окон для велосиметрических и термометрических измерений, поскольку способен сохранять прозрачность при очень высоких давлениях и высоких температурах [2]. Кроме того, монокристаллы фторида лития используются для рентгеновских монохроматоров и для изготовления высокоэффективных лазеров на центрах свободной окраски F_2 в инфракрасной области. В последние годы проявляется интерес и к нелинейным их свойствам.

Как известно, в твердых телах мерой нелинейности (ангармоничности) сил, действующих между атомами и молекулами, является параметр Грюнайзена γ. Он определяет целый ряд важных физических процессов, таких как тепловое расширение, теплопроводность, температурная зависимость упругих свойств и входит в уравнение состояния Ми-Грюнайзена. В этом ряду и фонон-фононное затухание акустических волн в кристаллах, основы теории которого были рассмотрены в работах [3-4].

Механизм фонон-фононного затухания акустических волн в случае относительно низких частот ($\omega\tau < 1$, τ — время релаксации тепловых фононов ω - частота акустических волн) был предложен Ахиезером [3], где было показано, что такой механизм затухания дает квадратичную зависимость от частоты и параметра Грюнайзена. Дальнейшее развитие теории акустического затухания в [4] привело к уточнению расчетных формул и выражение для коэффициента затухания акустических волн принято записывать в виде [5].

$$\alpha = \gamma^2 \cdot \frac{\lambda \cdot T \cdot \omega^2}{\rho \cdot V^2 \cdot V_D^2} \qquad (1)$$

где ρ - плотность, ω и V — соответственно, круговая частота и скорость акустической волны, T – температура, γ - эффективная константа фонон-фононного взаимодействия, или частный параметр Грюнайзена для данной акустической моды, которая рассматривается в качестве варьируемого параметра и определяется приравниванием экспериментального и расчетного значений затухания при определенной температуре.

В настоящей работе исследована анизотропия акустического затухания продольных и поперечных волн в кристаллах фторида лития. Методы

исследования и расчетные формулы детально приведены в работах [6, 7].

Анизотропия затухания продольных и поперечных акустических волн в плоскости (110) наглядно представлена на рис 1. На основе экспериментальных значений затухания определены частные параметры Грюнайзена для всех акустических мод, которые оказались равными: для продольных волн вдоль направлений [100] и [110], соответственно 3.67 и 2.63, а также для поперечных волн вдоль направления [110] – 4.83 для чистых поперечных волн и 1.92 для квазипоперечных волн.

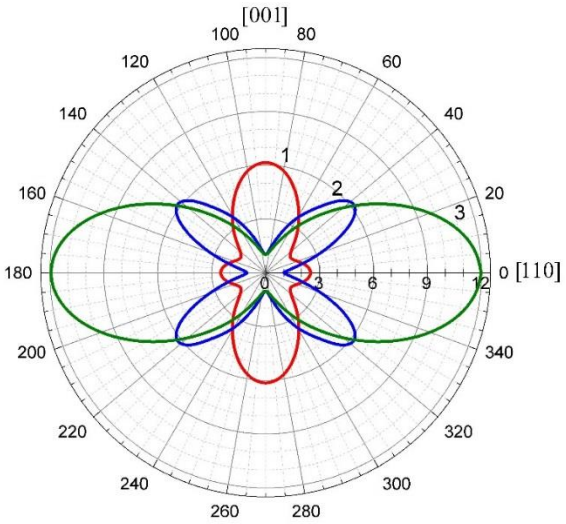


Рис. 1. Сечение поверхностей акустического затухания в кристаллах фторида лития плоскостью (110)

1. Acoustic crystals. Reference book. Ed. M.P. Shaskolskaya. Moscow: Nauka, 1982.
2. Qiancheng Liu, Xianming Zhou,a) Xiaolong Zeng, and S. N. Luo. Sound velocity, equation of state, temperature and melting of LiF single crystals under shock compression., J. Appl. Phys. Vol. 117, 045901, 2015; doi: 10.1063/1.4906558
3. Yu.A. Logachev, B.Ya Moyzhes. On the theory of sound absorption according to Akhizer. Solid state physics. Vol. 16, No. 8, 1974, pp. 2219-2223.
4. R. Nava, M. P. Vecchi, J. Romero and B. Fernandez. Akhiezer damping and the thermal conductivity of pure and impure dielectrics. Phys. Rev. B. Vol. 14, No 2. 1975, pp. 800-807.
5. E. Dieulesaint, D. Royer, Elastic waves in solids. Application for treatment of signals. Moscow: Nauka; 1982.
6. F.R. Akhmedzhanov, V.V. Lemanov, A. Nasyrov, Surfaces of acoustic attenuation in crystals. Letters Journal Technical Physics (SU). Vol. 6, No 6, 1980, pp. 589-592.
7. Wenhua Jiang and Wenwu Cao.: High-frequency dispersion of ultrasonic velocity and attenuation of single crystal 0.72 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})$ O3 – 0.28 PbTiO3 with engineered domain structures. Appl. Phys. Lett. Vol. 80, 2002, P. 2466-2468.

PHONON QUASI-PARTICLES IN DIPOLAR SUPERSOLID SYSTEM

B.Kh.Turmanov

Physical-Technical Institute of the Academy of Sciences of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan; turmanovbekzod@gmail.com

Recently, two unbound oscillation frequencies were observed experimentally [1] and studied theoretically [2] in a dipolar quantum system, confirming its superfluidity and coherent crystal structure at the same time. This state of matter is called “supersolid”, which was predicted to exist more than 50 years ago [3]. The principal stabilizing mechanism is the repulsive three-body atomic interactions and/or quantum fluctuations in the framework of the Lee-Huang-Yang theory.

In this work collective excitations of a quasi-one-dimensional dipolar supersolid system are investigated numerically. Two distinct oscillations frequencies, associated with the superfluid and crystalline components of the system, are identified. At first, a local group of atoms is perturbed by external Gaussian potential $V = V_0 \cdot Exp\left(-\frac{x^2}{w^2}\right)$, and then travelling acoustic waves are observed. The velocity of sound waves is compared with the energy spectrum $E(k) = \vartheta_s k$ of elementary excitations, obtained from the Bogoliubov-de Gennes analysis $\vartheta_s = \sqrt{-n_0\left(g + 2pn_0 + \frac{3}{2}\gamma n_0^{1/2} + g_{dd}\tilde{R}(k)\right)}$, where n_0 is average linear density of the condensate, g, p, g_{dd} - are the coefficients of two-body, three-body and dipole-dipole atomic interactions, respectively. The contribution of quantum fluctuations is quantified by the parameter γ. Detailed information for the governing equation and parameter values can be found in Ref. [2].

1. L. Tanzi, S. M. Roccuzzo, E. Lucioni, F. Fama, A. Fioretti, C. Gabbanini, G. Modugno, A. Recati, and S. Stringari, Supersolid symmetry breaking from compressional oscillations in a dipolar quantum gas, *Nature* 574, 382 (2019).
2. B. Kh. Turmanov, B. B. Baizakov, F. Kh. Abdullaev, M. Salerno, Oscillations of a quasi-one-dimensional dipolar supersolid, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys*. 54 145302 (2021).
3. A. J. Leggett, Can a Solid Be "Superfluid"? *Phys. Rev. Lett*. 25, 1543 (1970).

СЕКЦИЯ 6. ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ.

SECTION 6. PHYSICS AND TECHNOLOGY OF NANOMATERIALS.

ФОРМИРОВАНИЕ ПЬЕДЕСТАЛОВ И НИТЕВИДНЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ III-V НА ПОВЕРХНОСТЯХ, АКТИВИРОВАННЫХ КАПЛЯМИ ЗОЛОТА

Ю.Ю. Эрвье

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия, ervye@mail.tsu.ru

Синтез нитевидных нанокристаллов (ННК) полупроводниковых соединений III-V с использованием золота в качестве катализатора роста обычно включает стадию предростового отжига подложки с нанесенным тонким слоем Au при наличии потока молекул V группы. В результате на поверхности образуется массив капель Au, расположенных на вершинах ограненных утолщений в виде усеченных пирамид, высотой порядка 10 нм (т.н. пьедесталов) [1]. В зависимости от условий роста, последующее поступление на поверхность атомов III группы из молекулярного пучка приводит либо к образованию ННК постоянного диаметра на вершинах пьедесталов, либо к разрастанию пьедесталов без образования ННК.

В докладе предлагается аналитическая модель перехода от роста пьедестала к росту ННК и проводится численное моделирование этого процесса применительно к ННК GaAs. Модель предполагает послойный рост пьедестала за счет формирования 2D островков на вершине пьедестала (под каплей) с последующим движением ступени, ограничивающей островок, по боковой поверхности пьедестала к его основанию. Формирование 2D островков и движение ступеней описываются согласованным образом, с учетом особенностей встраивания адатомов в ступени на поверхности бинарного кристалла и с учетом изменения состава капли вследствие процессов адсорбции и десорбции, образования 2D островка и переноса атомов Ga из объема капли в изломы на ступенях. Переход к росту ННК связывается с образованием эшелона ступеней вблизи вершины пьедестала (вблизи тройной линии пар-жидкость-кристалл). С увеличением числа ступеней в эшелоне, расстояние между верхней ступенью и тройной линией уменьшается до значения, при котором становится существенным упругое отталкивание ступеней. В этом случае, вместо образования следующей ступени на боковой поверхности пьедестала формируется фрагмент вертикальной боковой поверхности ННК [2]. Модель позволяет воспроизвести наблюдаемое в эксперименте быстрое образование ННК при низких температурах роста и формирование больших пьедесталов с каплей на вершине при высоких температурах. Получены зависимости характерного времени перехода к росту ННК от начального состава капли и от значений адсорбционных потоков атомов Ga и молекул As_2.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 20-02-00946 (а).

1. [1] Z.M. Liao et al, Appl. Phys. Lett. 102 (2013) 063106.
2. [2] Yu.Yu. Hervieu, J. Cryst. Growth 568-569 (2021) 126187.

HIGH TEMPERATURE RESISTANT POLYMER NANOCOMPOSITE FILMS BASED ON CYANATE ESTER RESIN AND FULLERITE C_{60}

O.M. Starostenko[1], O.P. Grigoryeva[1], O.M. Fainleib[1], Ol.D. Zolotarenko[2,3], O.P. Rudakova[3], An.D. Zolotarenko[3], D.V. Schur[3], N.A. Gavrylyuk[2,3], O.D. Zolotarenko[3], M.V. Chimbay[3].

[1]Institute of Macromolecular Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

*[2]Chuiko Institute of Surface Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, *O.D.Zolotarenko@gmail.com, n_afanasiyivna@ukr.net*

[3]Frantsevich Institute for Problems of Material Science, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

In the last decade, the share of polymer composites and nanocomposites in modern structural materials used in the aerospace industry has significantly increased. Polymer composites often have high strength, like metals or ceramics, and are lighter in weight.

One of the key directions in the chemistry of fullerenes is the establishment of the laws governing their interaction with solvent molecules. Their solubility in various polymers is a separate line of fullerene dissolution chemistry. The influence of the presence of molecules with a unique structure in the composite on the physicochemical properties of products is still poorly understood.

In this work, for the first timethe series of the film samples of thermostable nanocompositesbased on densely cross-linked Cyanate Ester Resin (CER), derived from monomer dicyanate ester of bisphenol E (DCBE), filled with 0.01 – 0.1 wt.% fullerite C_{60} was synthesized and their chemical structure was investigated using FTIR (Bruker Tensor 37) Spectroscopy. The needful amount of fullerite C_{60} was dispersed in DCBE monomer at 100 ^{o}C for 2 hours using high-speed mixer and then the composition obtained was poured to the mold covered with antiadhesive coating. After that, the mixture was step-by-step cured using the following experimental schedule: 150 ^{o}C – 1 h, 200 ^{o}C – 2 h and next post-cured at 260 ^{o}C for 1 h. From comparison of FTIR spectra of the individual CER polymer and CER/fullerite C_{60} = 99.9/0.1 wt.% nanocomposite it was found that the final conversion of cyanate ester groups of CER (2237 and 2267 cm^{-1}) was equal ≈ 71 % and 94 %, correspondingly. Thus, one can conclude that the fullerite C_{60} has a catalytic effect on the polymerization of CER. The thermal properties of the nanocomposites synthesized were characterized using TGA (TGA Q500) and DSC (DSC Q2000) techniques. The CER/fullerite C_{60} = 99.9/0.1 wt.% nanocomposite demonstrated high thermal stability in nitrogen ($T_{d5\%}$ ≈ 441 ^{o}C, $T_{d\ max}$ ≈ 454 ^{o}C) and char residue 43.3 % (at 700 ^{o}C), and glass transition temperature T_g ≈ 200 ^{o}C.

The equilibrium values of the order parameters as a function of temperature and comprehensive external pressure have been evaluated. The temperature dependence of the thermodynamic potential of the considered phases has been plotted for different pressures and by points of intersection the phase diagram of carbon has been ascertained. The qualitative agreement between experimental and calculated phase diagrams has been shown.

MOBILE HYDROGEN ENERGY CONVERTER IS A SOURCE OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY

Ol.D. Zolotarenko[1], An.D. Zolotarenko[2,*], M.T. Kartel, D.V. Schur[2], O.P. Rudakova[2], N.A. Gavrylyuk[1], O.D. Zolotarenko[2], M.V. Chimbay[2].

[1]Chuiko Institute of Surface Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, 03164, Kyiv, Gen. Naumov str., 17, Ukraine, n_afanasiyivna@ukr.net

[2]Frantsevich Institute for Problems of Material Science, National Academy of Sciences of Ukraine, 03142, Kyiv, Krzhizhanovsky str., 3, Ukraine

a.d.zolotarenko@gmail.com

Until the present time no alternatives have been to the acid storage batteries and Diesel-generators as devices ensuring supply of electricity in the case of network failure or turn-down. The technology of fuel cells penetrates this energy segment.

The present report describes the design of an emergency hydrogen power source that allows the continuous use of a lamp 20 W in power for 50 h. This source represents the class of devices that combines both a container for hydrogen storage and its consumer

The use of a metal-hydride accumulator built into the device allows the generation of electrical energy at its output. Hydrogen is converted into this energy though a fuel cell. This cell is a basis of the proposed device.

Contrary to the diesel generators, batteries of fuel cells have no movable parts. Consequently, they operate noiselessly, without vibrations and are characterized by a long term of exploitation. However not every design from the six known ones is suitable for these purposes. In the range of emergency power sources with the lowest power up to 3 kW, the cells with a polymer-electrolytic membrane (PEM) are the most suitable.

In the proposed emergency power source, compounds of the AB_5 type based on a lanthanide alloy were chosen as a hydrogen-sorption material for the metal-hydride accumulator. These compounds exhibit sufficiently high hydrogen capacity, low sensitivity to impurities of poisonous gases and moisture, provide a possibility to control the required equilibrium pressure at room temperature.

Such electric power source equipped with a metal-hydride accumulator of hydrogen and a battery of fuel cells with a polymer-electrolytic membrane does not practically require any service. In its exploitation, a filter for air cleaning needs to be changed only once a year. Any user can do this operation.

Technical hydrogen supplied in standard cylinders, to which no special safety requirements are needed, can be used to fill a metal-hydride accumulator. Hydrogen is purified by hydrogenation to high purity in filling an accumulator.

Conclusions. The proposed emergency hydrogen electric power source can be used in different fields of human's activities. It can be used in the regions remote from the centralized power supply, deeply underground and underwater.

TERMODESTRUCTION IN HYBRID EPOXY – MODIFIED GRAPHENE COMPOSITES

N.A.Gavryluk, B.M.Gorelov, O.V.Mischanchuk, V.N.Mischenko, N.V.Sigareva, S.V.Shulga

Chuiko Institute of Surface Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, 03164, Kyiv, Gen. Naumov str., 17, Ukraine, n_afanasiyivna@ukr.net

The effect of surface modification of multilayer graphene particles with pyrogenic titanium dioxide nanoparticles (anatase form) on the thermal stability of hybrid epoxy composites have been investigated. Anatase nanoparticles are the semiconductors with low thermal conductivity, compared to graphene, and have three groups of heat carriers: phonons, electrons, and holes. It was assumed that the modification of graphene with a semiconductor having lower surface reactivity would weaken the heat resistance of epoxy composites with modified graphene.

The non-oxidized graphene particles with a specific surface area of ~740 m^2/g, an average basal plane size of ~5 μm, a thickness of up to 50 nm, and a number of layers up to ~ 100 were used to fill of the epoxy resin. The specific surface area of anatase particles was ~ 150 m^2/g. Anatase particles deposited on graphene in a concentration of $C \leq 1$ wt% partially covered its surface, and upon a modifier content C = 2% they completely covered the surface of carbon particles. In the composites, the content of graphene particles modified with different amount of anatasehas been varied in the range of fillings from 0 to 5%.

The thermal stability of hybrid composites have been investigated by the method of thermoprogrammed desorption mass spectrometry in the temperature range 35-900°C and registration of atomic thermodestruction products in the range *m/z* 15-180 (*m* is the mass and *z* is the charge of volatile fragment).

It is shown that the thermal stability of composites with 1% hybrid particles coated with 1% anatase increases, while with an increase in the content of hybrid particles, the heat resistance of composites decreases. The thermal stability of composites filled with graphene modified with 2% anatase increases over the entire filling region. Besides, the heat resistance of hybrid composites exceeds the thermal stability of composites filled with unmodified particles of unoxidized graphene.

Thus, the modification of graphene with pyrogenic titanium dioxide radically changes the distribution of heat fluxes at the interface. The latter leads to an enhancement in thermal resistance at the interface, possibly due to a local reduction in its temperature at the fastening points of polymer chain atoms on the active centers of titanium dioxide.

STUDY OF HYDROGEN-SORPTION CHARACTERISTICS OF FULLERITE C_{60}

Ol.D. Zolotarenko[1], D.V. Schur[2], M.T. Kartel, O.P. Rudakova[2], An.D. Zolotarenko[2], N.A. Gavrilyuk[1], O.D. Zolotarenko[2], M.V. Chimbay[2].

[1]Chuiko Institute of Surface Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, 03164, Kyiv, Gen. Naumov str., 17, Ukraine n_afanasiyivna@ukr.net
[2]Frantsevich Institute for Problems of Material Science, National Academy of Sciences of Ukraine, 03142, Kyiv, Krzhizhanovsky str., 3, Ukraine
dmitry.schur@gmail.com

The perspective of hydrogen adsorption for new materials theoretically looks as optimistic enough. In the case of each carbon atom joins one hydrogen atom (it's likely enough) there is a possibility to produce these materials based sorption matrix which could accumulate to 7,7 wt. % of hydrogen.

This value satisfies and exceeds all demands to this class materials of as USA Ministry of Energetics and as other international agencies.

Therefore, finding the way of complete and reversible carrying out of the reaction

$$C_x + \frac{x}{2} H_2 \leftrightarrow C_x H_x; \quad x = 60, 70, 72, 84,$$

could use these materials as the systems of hydrogen accumulation and storage in different fields of technique and technologies, if one takes into account the peculiarities of their structure and properties. It is known, that absence of such class materials suppresses wide application of hydrogen as fuel and energy carrier.

- *The research results showed* that the optimal conditions for the hydrogenation of fullerene C_{60} : P = 12 MPa and T = 400 - 4500 °C.
- Long time hydrogenation leads to complete hydrogenation of fullerene molecule under these conditions.
- It is shown experimentally that during molecular hydrogen interaction with fullerite induction time period, which includes surface processes such as adsorption and dissociation of molecular hydrogen, is absent.
- The following steps of hydrogenated molecule $C_{60}H_{60}$ formation are: dissolving of hydrogen molecules in octahedral pinholes of FCC fullerite lattice, dissociation of molecules under hydrogen transfer into tetrahedral pinholes, and chemical interaction of hydrogen atoms with fullerene molecule.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФТОРА ПО ГЛУБИНЕ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ КАРБОНИЗАЦИИ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА: ЭКСПЕРИМЕНТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Л.А. Песин

Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, 454080 Челябинск, пр. Ленина, 69 pesinla@mail.ru

При малых экспозициях воздействия на пленку ПВДФ фотонов мягкого рентгеновского излучения концентрации фтора, измеренные с использованием отношений площадей линий F1*s*/C1*s* и F2*s*/C1*s*, близки. По мере увеличения экспозиции они монотонно убывают с различной скоростью. Это свидетельствует о возникновении и увеличении неоднородности распределения остаточного фтора по глубине анализируемого слоя, что связано с поглощением фотонов веществом полимера. Изменение соотношения между интенсивностями F1*s*-линии и ее сателлита неупругих потерь является дополнительным свидетельством данного явления.

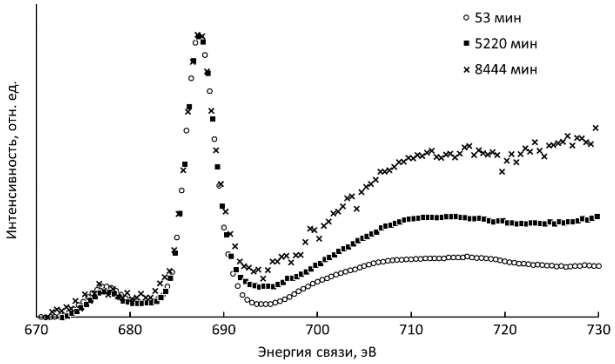


Рис.1. Спектры F1*s*-электронов пленки ПВДФ Kynar на различных стадиях радиационной карбонизации при облучении AlK_α-фотонами

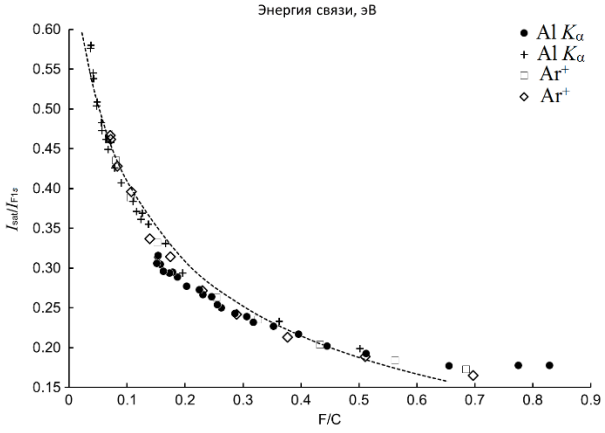


Рис.2. Зависимость отношения I_{sat}/I_{F1s} интенсивности F1*s*-спектра в точке сателлита (25 эВ выше положения главного максимума) к величине главного максимума от концентрации остаточного фтора F/C. Символы – эксперимент, штриховая линия – результат модельного расчета

На рис. 1 представлены спектры F1*s*-электронов пленки ПВДФ Kynar на различных стадиях радиационной карбонизации. Для удобства визуального сравнения спектры выравнены по энергетическому положению и высоте главных максимумов. Из рисунка видно, что интенсивность сателлита по отношению к интенсивности F1*s*-линии возрастает с увеличением экспозиции, т.е. с уменьшением содержания остаточного фтора.

Качественную информацию об эволюции распределения атомов фтора по

глубине в процессе поверхностной карбонизации полимера дает зависимость отношения интенсивности сателлита в точке на фиксированном энергетическом расстоянии (25 эВ) от положения максимума F1*s* к величине этого максимума (I_{sat}/I_{F1s}) от концентрации F/C, представленная на рис. 2. Штриховая линия на рис. 2 - результат полуколичественного моделирования обсуждаемой зависимости. Учитывая экспоненциальный характер поглощения излучения веществом, можно предположить, что относительная атомная концентрация остаточного фтора $n_F(x)$ в слое вещества бесконечно малой толщины на глубине x выражается следующим соотношением:

$$n_F(x) = c + (n_0 - c)\exp(-\chi x),$$

где c – концентрация фтора в исходном ПВДФ, равная единице в случае идеальной структуры, n_0 – она же на поверхности исследуемой пленки (x = 0), χ – коэффициент поглощения пленкой дегидрофторирующего излучения.

Средняя относительная атомная концентрация остаточного фтора в анализируемом слое толщиной L

$$\frac{F}{C} = c - \frac{c - n_0}{\chi L}\left[1 - \exp(-\chi L)\right]$$

соответствует относительной атомной концентрации фтора, экспериментально измеренной с использованием отношений интегральной интенсивностей спектров F1s/C1s или F2s/C1s. В качестве первого приближения допустим, что длина свободного пробега фотоэлектронов в веществе и, следовательно, величина L ограничена их неупругими взаимодействиями с валентными электронами атомов, оказавшихся в непосредственной близости от траектории их переноса к поверхности. Поэтому разумно предположить, что величина L обратно пропорциональна концентрации валентных электронов углерода и оставшихся в равных количествах водорода и фтора:

$$L = K/(4 + 8n_F).$$

Коэффициент поглощения AlK_α-излучения веществом ПВДФ можно приближенно оценить, усреднив известные данные для политетрафторэтилена и полиэтилена (2.2×10^5 м$^{-1}$). Однако такая величина оказывается слишком малой для объяснения разницы значений F/C, измеряемых с использованием отношений интенсивностей F1s/C1s и F2s/C1s. Модель неплохо согласуется с экспериментальной зависимостью при значениях $\chi = 6\times10^7$ м$^{-1}$ и $K = 1.5 \times 10^{-8}$ м (рис. 2). Расчетные значения L увеличиваются от 0.83 до 3.6 нм при уменьшении параметра n_0 от 1 до 0.02.

Вопрос об аномально большой величине поглощения дегидрофторирующего излучения веществом пленки остается открытым. Также вызывает удивление и требует дополнительного изучения факт, что характер распределения фтора по глубине не зависит от того, фотоны или ионы используются для радиационной карбонизации.

Исследование частично поддержано грантом РФФИ и Правительства Челябинской области 20-43-740023 р_а_Челябинск.

SYNTHESIS OF BORON NITRIDE COMPOSITES BASED ON POLYMERS FOR USE IN 3-D PRINTING

Ol.D. Zolotarenko[1], N.A. Gavrilyuk[1], O.P. Rudakova[2], An .D. Zolotarenko[2], D.V. Schur[2], O.D. Zolotarenko[2], M.V. Chimbay[2].

[1]Chuiko Institute of Surface Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, 03164 Kyiv, Gen. Naumov str., 17, O.D.Zolotarenko@gmail.com, n_afanasiyivna@ukr.net

[2]Frantsevich Institute for Problems of Material Science National Academy of Sciences of Ukraine, 03142, Kyiv, Krzhizhanovsky str., 3, Ukraine

To maintain the required weight while increasing the safety, reliability and functionality of the spacecraft shell, it is proposed to use composite materials consisting of light elements (water conduit, boron, lithium ...).

This paper presents the results of studies on the possibility of synthesizing such composites based on new modifications of boron nitride obtained using the Self-propagating high-temperature synthesis and laser synthesis. It was shown that, regardless of the synthesis method, the main phase is hexagonal boron nitride (α-BN). In addition, poorly studied crystallographic analogues of carbon phases are formed - chaoite-like and fullerite-like phases of boron nitride, nanotubes, nanofibers, and nanopowders. In addition, boron nitride nanotubes were obtained by grinding the cubic modification in a ball mill.

The paper also presents the results of experimental studies on the synthesis of the poorly studied E-phase of BN by the SHS method. It has been shown that, in a wide range of precursor ratios, the E-phase is stably formed at sufficiently low temperatures. Test studies have shown its stability under additional heating up to 700 and 900 °C. The experimental results were used to determine the cubic lattice parameter. Electron microscopic studies have shown the features of the crystal structure and the presence of an amorphous . The results of X-ray studies are consistent with the literature data.

A method for obtaining a polymer and modes of curing cyanate monomer compositions in the presence of BN have been worked out and a series of polymer composite samples with different boron nitride content, as well as different grinding times have been prepared and studied.

BENZOBISTHIAZOLE BASED CONJUGATED POLYMERS FOR ORGANIC SOLAR CELLS

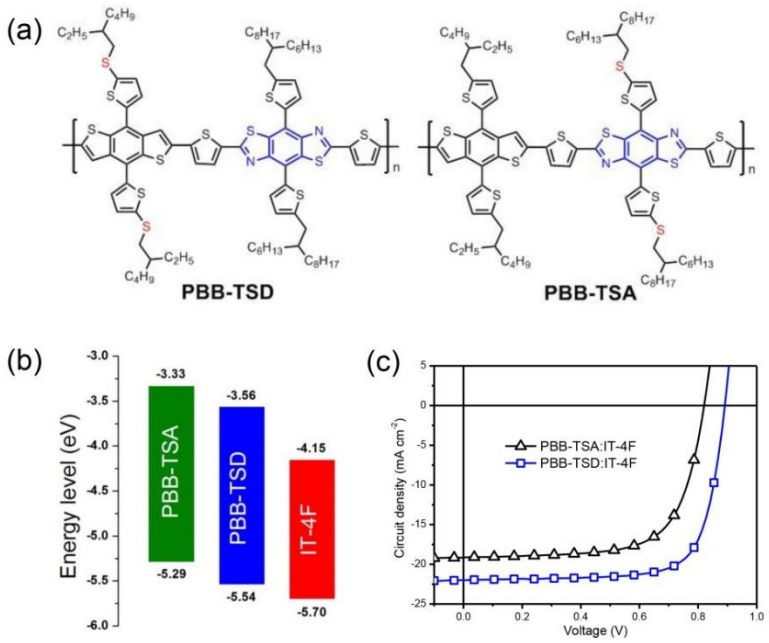
Shuguang Wen[1], A.Saparbaev[2]

[1]*CAS Key Laboratory of Bio-based Materials, Qingdao Institute of Bioenergy and Bioprocess Technology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266101, China.*

[2]*Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Uzbekistan Academy of Sciences, 33, Durmon Yuli St. 100125 Tashkent, Uzbekistan.*

Organic solar cells (OSCs) have attracted great attention due to the advantages including low-cost, flexibility, lightweight and solution-processability.[1] The power conversion efficiencies (PCEs) have been rapidly increased in recent years with the emerging of non-fullerene electron acceptor materials. As for the active layer materials in state-of-the-art OSCs, the acceptor material is usually a small molecule with narrow band gap and determins optical absorption range, and the donor material is usually a conjugated polymer with wide band gap which controls the film morphology. The polymer donor plays critical role in photovoltaic conversion process such as exciton dissociation and recombination. We have developed a series of conjugated polymers based on benzobisthiazole (BBT) as the electron donor materials in OSCs, which displays excellent photovoltaic performance.[2] The unique character of molecular structure diversity for BBT unit endows it a very promising building block for high performance photovoltaic materials.

Ultimately, two alkythio side-chain substituted BBT-based D–A conjugated polymers, PBB-TSD and PBB-TSA, were identified in this study. The donor and acceptor units of PBB-TSD and PBBTSA, respectively, were assigned an alkythio side-chain. The impact of different alkythio positions on molecular packing, crystallinity, BHJ film morphology, and photovoltaic properties was studied. The addition of alkylthio to the donor and acceptor will lower and raise the HOMO energy levels, which can be used to align with different acceptors. The 2D-GIWAXS analysis revealed that the two polymers in the blend film with IT-4F had a given face-on orientation, which is critical for charge transport in the vertical orientation of the substrate and thus reduces charge recombination. With the addition of DIO additive, rational nanoscale phase separation and ordered molecular packing are achieved, resulting in improved hole/electron mobilities. As a result of system optimization via DIO, the J_{SC} and FF for both PBB-TSD and PBB-TSA blends are improved. Finally, the system based on the optimized PBB-TSD:IT-4F cells has a PCE of 14.6%, a V_{OC} of 0.89 V, a J_{SC} of 21.9, and an FF of 74.5%. These findings show that adding an alkyhtio side-chain to the donor device for improved photovoltaic efficiency is a viable strategy.



Sulfur atom is important in the design of organic photovoltaic materials, which can be used to modulate the energy levels and intermolecular interaction. We have introduced alkylthio side chain to the donor or acceptor unit of the BBT-based polymer respectively and synthesized polymers PBB-TSD and PBB-TSA. It is found that the sulfur position can modulate energy levels in opposite effect compared to the polymer without sulfur substitution, and PBB-TSD shows lower energy levels. Two polymers exhibit dominating face-on orientation in films.

In summary, for maximum attention in the organic semiconductor technology to be obtained, an optimal strategy to address the cost of production, scalability, long time stability, enhanced performance has to be encouraging enough. The selection of suitable semiconducting materials would be an effective strategy and hence, BBT-based materials would make the top choice as it has been demonstrated herein. However, a range of 2D conjugated BBT-based non-fullerene organic solar cells were synthesized and evaluated. To modify the energy levels and film morphology, F and Cl halogen atoms and varying alkylthio side chain positions were strategically employed. Higher extinction coefficient, strong aggregation, and cascade energy level coordination were all observed in the polymers. Employing IT-4F as the acceptor to complement the BBT-based polymer for the photovoltaic systems, impressing photovoltaic properties and PCE were obtained.

1. Wadsworth, A.; Moser, M.; Marks, A.; Little, M. S.; Gasparini, N.; Brabec, C. J.; Baran, D.; McCulloch, I. Chem. Soc. Rev. 2019, 48, 1596.
2. (a) Wen, S.; Li, Y.; Rath, T.; Li, Y.; Wu, Y.; Bao, X.; Han, L.; Ehmann, H.; Trimmel, G.; Zhang Y.; Yang, R. Chem. Mater., 2019, 31, 919. (b) Wen, S.; Li, Y.; Zheng, N.; Raji, O.;Yang. C.; Bao, X. J. Mater. Chem. A, 2020, 8, 13671.

ЭФФЕКТ СТЕБЛЕРА-ВРОНСКОГО В АМОРФНОМ КРЕМНИИ И НАНОФРАКТАЛЬНАЯ СПИНОВАЯ ХИМИЯ

Х.Б.Ашуров, Б.Р.Кутлимуротов, С.Е.Максимов, Н.Н.Никифорова, Б.Л.Оксенгендлер

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

bek.fiz.1986@mail.ru

В современной фотовольтаике аморфный кремний играет важную и все возрастающую роль. Однако оказалось, что солнечные элементы на основе *a-Si* обладают серьёзным недостатком. Чрезвычайно широкий фронт работ, как экспериментальных, так и теоретических, выявил общую причину этой деградации [1]. Более того, учитывая значимость этих научных результатов процесс деградации даже получил статус специального эффекта – эффекта Стеблера-Вронского (ЭСВ) [1,2]. На настоящий момент наиболее фундаментальным по ЭСВ считается работа [3], где с помощью комбинации методов ЯМР, ЭПР, Эхо-ЭПР исследователи пришли к мнению, что все сложные электрон-ионные процессы (с учетом света и при участии атома водорода) происходят в микрополостях, где атом водорода в результате своих перемещений образует много болтающихся связей *sp*-гибридов, которые являются сильными рекомбинационными центрами (киллер центрами), что и приводит к деградации всех характеристик. В данной работе мы дополнили модель Карлсона [4] радикальной идеей о фрактальной природе этих полостей (Рис. 1).

Рассмотрим совокупность элементарных актов разрыва/объединение атомов водорода и кремния осуществляемых с учетом спиновой химии и фрактального сочетания областей с различными знаками деформации. Пусть у атома *Si(2)* локализовалось дырка (на связи *Si(2)- Si(3)*). Эта дырка оттягивает на себя часть электронной плотности и связи атома *Si(2)-H*. Вследствие последнего обстоятельства эта связь *Si(2)-H* рвётся. Оторвавшийся атом *H* (например, со спином электрона вверх) перемещается к соседнему димеру *Si(4)- Si(5)*. Химическая связь этого димера ковалентная, т.е. обладает общим спином равным нулю. Двигаясь мимо химической связи этого димера электрон с атома *H* из электронной пары димера выбирает обменным взаимодействием электрон с противоположным спином, и осуществляет с ним процесс flip-flop (спиновой обмен). Димер приобретает спин триплет и мгновенно разрывается и расталкивается (по закону антисвязи). На этот процесс разрыва требуется определённа энергия равная разнице энергий димера в антисвязанном и связанном состояниях. Эта дополнительная энергия тем меньше чем более растянут димер:

$$\Delta\varepsilon \approx 4De^{-\alpha(R-R_0)}$$

где D – энергия тепловой диссоциации димера, α – упругий параметр связи.

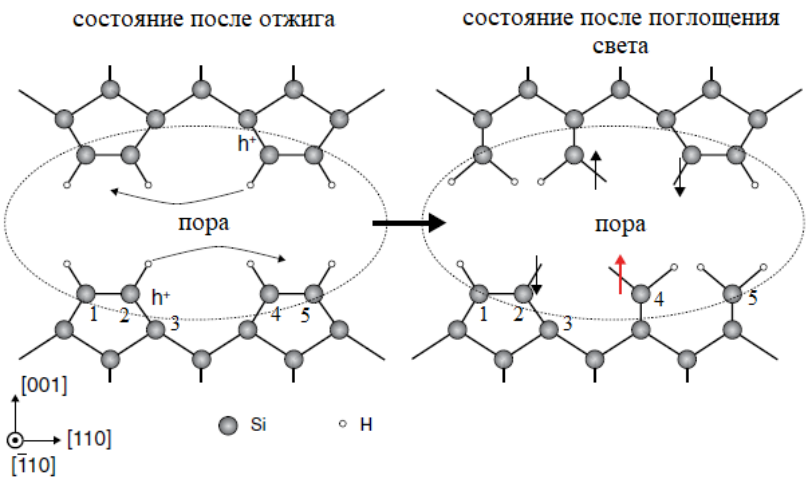


Рис.1. Спиновая химия в применении к процессу каталитического действия водорода при разрыве соседнего димера. Разрыв происходит на деформированным (растянутом) димере.

Разорвавшийся ослабленный фрактальностью димер в результате дает неспаренный спин на связи кремния и немедленно образуется молекула *Si(4)-H*, компенсирующая затрату энергии $\Delta\varepsilon$. Указанная схема удовлетворяет закона сохранения общего спина, что в нашем случае реализуется следующим образом: спин порвавшийся связи *Si(2)-H* после ухода *H* стал равным $-\frac{1}{2}$. Связь же порвавшегося димера даёт спин $+\frac{1}{2}$. Полный спин опять оказывается равным нулю.

Резюме. Экспериментальные результаты, полученные в [3] удаётся корректно интерпретировать, используя два положения: 1. Законы сохранения в спиновой химии; 2. Нанофрактальные свойства растянутых микрополостей.

1. Staebler D.L., Wronski C.R. Reversible conductivity changes in discharge-produced amorphous Si. //Appl. Phys. Lett. 1977. V.31. P.292;
2. Shimuzi T. Staebler-Wronski Effect in Hydrogenated Amorphous Silicon and Related Alloy Films. //Jap. J. Appl. Phys. 2004. V. 43(6A). P.3257–3268.
3. Fehr M., Schnegg A., Rech B. et al. Metastable Defect Formation at Microvoids Identified as a Source of Light-Induced Degradation in a−Si:H. //Phys. Rev. Lett.. 2014. V.112. P.066403.
4. Carlson D.E. Hydrogenated Microvoids and Light-Induced Degradation of Amorphous-Silicon Solar Cells. //Appl. Phys. A. 1986. V.41. P.305-309. https://doi.org/10.1007/BF00616053
5. Х. Б. Ашуров, Б.Р. Кутлимуротов, Н.Н. Никифорова, Б.Л. Оксенгендлер, Спино-зависимые химические процессы на и вблизи поверхности полупроводников при воздействии солнечного света, Гелиотехника, 2020, Том 56, №4, с. 311-321.

ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИТА NIC

Р.Т.Мурзаев
Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г.Уфа
murzaevrt@gmail.com

Изучение взаимодействия полиморфов углерода с металлическими наночастицами в настоящее время вызывает большой интерес, поскольку открывает широкие возможности для получения новый перспективных материалов. Развитие нанотехнологий ставит новую задачу – создание наноразмерных структур с улучшенными электронными, термическими и механическими свойствами, например: композитных материалов.

Одно из перспективных направлений исследований в области получения новых композитов с улучшенными свойствами – создание композитных структур на основе углеродного материала и металлов [1]. Большое количество посвящено изучению композитов на основе Ni и графена [2], поскольку добавление графена в никелевую матрицу может значительно улучшить свойство получаемого материала. Например, Ni улучшает механические свойства углеродных нанотрубок [3]. Такие композиты применяют как более прочные поверхностные покрытия для мягких материалов. Исследования показывают, добавление графена увеличивает модуль Юнга[4] и его прочность[2].

Настоящая работа посвящена исследованию композита, которых представляет собой частицы никеля, обернутые в чешуйки графена. В частности, исследовалось, как влияет температура на структурные размеры композитного материала. При этом варьировалось размеры наночастиц никеля обернутые в чешуйки графена. Исследование проводилось методом молекулярной динамики, температурный интервал составлял от 0 К до 1500К. исследование проводилось двумя методами, первый заключался в том, что размер расчетной ячейки были постоянным и оценивалось изменение давления. Второй метод, заключался в том, что на стенках ячейки удерживалось постоянное нулевое давление и отслеживалось изменения расчетной ячейки.

Исследования показали, что при исследование первым методом наблюдает рост давления, так и при втором методе наблюдается увеличение размера расчетной ячейки. В обоих случаях степень увеличения зависит от размера наночастиц никеля обернутых чешуйками графена.

1. L.R. Safina, J.A. Baimova, K.A. Krylova, R.T. Murzaev, R.R. Mulyukov. Lett. Mater., 2020, 10(3), 351.
2. Y. Kim, J. Lee, M.S. Yeom, J.W. Shin, H. Kim, Y. Cui, J.W. Kysar, J. Hone, Y. Jung, S. Jeon, S.M. Han. Nat. Commun., 2013, 4, 2114.
3. S. Inoue, Y. Matsumura. Chem. Phys. Lett., 2008, 469(1–3), 125.
4. Z. Ren, N. Meng, K. Shehzad, Y. Xu, S. Qu, B. Yu, J.K. Luo. Nanotechnology, 2015, 26, 065706.

GROWTH ONSET OF PERYLENE-BASED NANOCRYSTALS

U. Khalilov[1,2], M. Yusupov[1,2], A. G. Tojiboev[1], P. Nematollahi[2], Kh. Rakhimov[1], D. Husanova[1], I. Juraev and S.Z. Mirzaev[1]

[1] *Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan*

[2] *University of Antwerp, Universiteitsplein Antwerp, Belgium*

e-mail: umedjon.khalilov@uantwerpen.be

Organic nanocrystals are being used for several technologies, including pharmaceuticals, agrochemicals and organic electronics [1]. Recent studies show that further successes in a usage of these nanocrystals require a deeper understanding of their nucleation and consequent growth mechanisms [2-4]. Despite of tremendous studies in the crystal growth using experimental observations and their theoretical (including simulations) interpretations, however, the nucleation nature of organic carbon nanocrystals (OCNs) is still elusive.

Therefore, we study the clustering mechanism of several perylene molecules in order to understand the growth onset of OCNs from cyclic aromatic hydrocarbon molecules. Our simulations are based on Molecular Dynamics (MD) method [5].

The preliminary reactive MD results show that perylene molecules are initially form into dimers and consequent trimers with stacking interactions due to the presence of π-electrons in the inner (or central) part of the perylene molecule. However, non-reactive MD simulations demonstrate that the third molecule perpendicularly connects to the dimer, which is also confirmed by our quantum-mechanical (DFT) calculations. Namely, at the edges of the perylene molecule there is a C-H bond, in which the electrons are closer to the more negative C atom. This leads to the formation of a hydrogen bond between neighbor non-bonding H and C links, which contributes to the perpendicular arrangement of the molecules in some energetically favorable cases. Such connection behavior eventually leads to the formation of crystal-like clusters during the nucleation stage of the growth of organic nanocrystals. In overall, this kind of study can assist to clarify onset mechanism of the growth of organic nanocrystals.

1. K. Baba, H. Kasai, K. Nishida and H. Nakanishi (2011). Functional Organic Nanocrystals, *ISBN: 978-953-307-199-2, InTech.*
2. Jeon *et al*. Reversible disorder-order transitions in atomic crystal nucleation. *Science* 371, 498-503 (2021).
3. T. Nakamuro *et al*. Capturing the moment of emergence of Crystal Nucleus from Disorder. *J. Am. Chem. Soc.* 143, 1763-1767 (2021)
4. G.C. Sosso *et al*. Crystal Nucleation in Liquids: Open Question and Future Challenges in Molecular Dynamics Simulations. *Chem. Rev*. 116, 7078-7116 (2016).
5. van Duin, Adri C. T., et al. ReaxFF: a reactive force field for hydrocarbons. *J. Phys. Chem. A* 105, 9396-9409 (2001).

ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Х.Б. Ашуров, В.Н. Арустамов, И.Х. Худайкулов, Ж.Р. Равшанов, Д.Т. Усманов

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, ул. Дурмон йули 33, 100125, Ташкент, Узбекистан, e-mail: ashurov@iplt.uz

Развитие техники и технологии, вызвало необходимость использования инструментов, обладающих такими механическими свойствами, при которых они способны работать в условиях повышенного абразивного износа и при высоких нагрузках с высокой производительностью. Такие инструменты изготавливаются на основе твердых сплавов, которые по своим механическим и тепловым характеристикам многократно превосходят обрабатываемый материал. Твердые сплавы обладают высокой твердостью и износостойкостью, что определяет их применение в качестве материала для изготовления режущего и бурового инструмента, а также изделий с повышенными требованиями к износостойкости. Самым важным компонентом твердых сплавов является карбид вольфрама, WC. В настоящее время, карбид вольфрама является одним из используемых сплавов в технике для изготовления различных инструментов, требующих высокой твёрдости и коррозионной стойкости благодаря своим необычным свойствам, таким как высокая температура плавления, превосходная твердость, низкий коэффициент трения, высокая стойкость к окислению и хорошая электрическая проводимость [1].

В работе обсуждаются исследования наночастиц карбида вольфрама полученных плазмохимическим методом. Наночастицы WC были получены путем плазмохимического восстановительного синтеза непосредственно из оксида вольфрама которые специально изготовлены установкой. Изучена возможность использования различных связующих на основе углерода и глюкозы для изготовления брикетов из порошков оксида вольфрама. Проверена механическая прочность брикетов путем их обработки в вакуумно-дуговом разряде. Причем брикеты, связанные с глюкозой, показали более высокие механические характеристики. Морфология, структурные свойства и фазовый состав наночастиц WC были исследованы сканирующей атомно-силовой микроскопией, методом рамановской спектроскопии и рентгеноспектральным анализом.

1. Исаева Н.В., Благовещенский Ю.В., Благовещенская Н.В., Мельник Ю.И., Самохин А.В., Алексеев Н.В., Асташов А.Г. Получение нанопорошков карбидов и твердосплавных смесей с применением низкотемпературной плазмы. Известие ВУЗов, ПМиФП, № 3 2013, с.7-15.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ НАНОСТРУКТУР

З.А.Исаханов, Р.М.Ёркулов, Ж.Ш.Содикжанов

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан. e -mail: za.isakhanov@gmail.com

Имплантация ионов бария проводилась с энергией E_{imp} = 0.5–5 кэВ под углом 15^0 относительно нормали к поверхности для исключения каналирования ионов, при вакууме не хуже 10^{-6} Ра.

Разработан способ получения свободных нанопленочной системы типа Ba-$CuBa_2$-Cu. В частности, данный способ обеспечивает создать периодически повторяющийся многослойной системы применяющихся в ультрабольших интегральных схемах. При этом нанопленки меди наряду с другими назначениями (обеспечение токоотвода и контакта) играет роль армирование свободной системы. Кроме того, простая выдержка этой системы в атмосфере кислорода позволяет получить четырехслойную систему типа SiO_2-Si-$CuSi_2$-Cu. Толщину пленки SiO_2 можно регулировать температурой подложки и временем выдержки.

Определены параметры решетки Cu пленки с разной толщиной.

Показано, что тонкие плёнки гранецентрированных решеток имеют идентичные атомы и равноправные связи. Валентные электроны не участвуют индивидуально в проявлении в образовании энергии связи.

Изучение размерных эффектов в тонких пленках в зависимости от температуры и толщины пленки показали, что с увеличением температуры на фиксированной толщине, параметр решетки увеличивается. Показано, когда число слоев на поверхности пленки превышает пятидесяти, параметр решетки стремится к своему истинному предельному значению 3,6510 Å, но плоскостное расстояние увеличивается.

Предложена модель образования формы ГЦК решетки Cu, в виде кластера из трех атомов.

Исследованы оценка размеров участков занятых кластерными фазами, образующимися при ионной бомбардировке свободных пленок Cu, и расстояния между ними. Размеры отдельных участков ионно–имплантированных фаз составляют 25–30 нм, а расстояние между центрами соседних фаз лежит в пределах 50-60 нм. Обнаружено, что при дозе облучения Na^+ D = $2x10^{16}$ ион·$см^{-2}$с энергией E_{imp} = 1 кэВ, 45-50% поверхности разупорядочивается и обогащается атомами натрия. Для каждой дозы можно оценить размеры кластерных (ионно-легированных) фаз. Поверхностная концентрация атомов Na и их распределение по глубине свободной пленки Cu, определенные методом ЭОС, были сопоставлены с аналогичными данными для массивных монокристаллических образцов. Для свободных пленок концентрация атомов Na на поверхности значительно меньше, а глубина их проникновения значительно больше, чем в случае массивных образцов.

СОЛНЕЧНАЯ ПЕЧЬ, ГЕЛИОТЕХНОЛОГИИ В СВЕТЕ КОНЦЕПЦИИ “COMPLEXITY”

С.Х.Сулейманов[1], Б.Л.Оксенгендлер[1,2], Н.А.Кулагина[1]
[1]Институт материаловедения НПО «Физика-Солнце» АН РУз
ул. Ч. Айтматова, 2 Б, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: sultan.suleimanov@gmail.com, nataly.kulagina@gmail.com
[2]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз
Ташкент, Узбекистан
e-mail: oksengendlerbl@yandex.ru

С начала XXI века радиационная физика твердого тела ощутимо вступила в новую фазу своего развития, что было связано как с усиленной нелинейностью комбинированнных факторов воздействия радиации, так и сложными объектами облучения, с такими их свойствами как “нано”, “фрактальность”, “иерархичность” и др., и все это в условиях сильной неравновесности. К этому времени (на базе всей физики конденсированного состояния) получила развитие новая парадигма – “сложность” (Complexity). Постепенно эта концепция проникла и в радиационную физику конденсированного состояния (РФКС), причем одинаково успешно как в проблемам неживой, так и живой природы, унифицированно исследующая и ту, и другую [1, 2]. Главный метод РФКС – “заброс” вещества в термически недостижимые состояния, гарантирующие новые свойства. Как показывают оценки в рамках “Complexity”, это производится различно, но наиболее часто следующим путем:

а) при большой плотности энерговыделения, даже в одном элементарном акте атомной перестройки, локально и единовременно реализуется комбинация разных каналов передачи энергии (упругое рассеяние, ионизация, тепло, ударная волна);

б) нелинейность достигается в объектах, где локально проявляются сразу несколько сложных свойств среды;

в) когда сочетаются и сложность среды, и многофакторность радиационного воздействия.

Эти все варианты вполне реально и интересно проявляются в условиях использования Большой солнечной печи (Паркент, Узбекистан), где естественно реализуются условия ионизации и возбуждения колебаний атомов единовременно. Это приводит к таким эффектам, как понижение температуры плавления, расширению спектра поглощения средой. В условиях градиента температуры добавляется облегченная теплопроводность (через возбужденные электроны), крайне любопытны радиационные эффекты в иерархических структурах, когда одновременно, но на различных ступенях, реализуется и образование самоорганизующихся структур, и их разрушение. Представляет необычайный интерес воздействие радиации на пористые структуры, сочетающие объекты различных размеров и размерностей; при некоторых

условиях можно ожидать проявление процессов радиационной сегрегации многокомпонентных объектов и др. Представляется также, что уже имеющиеся эксперименты [3, 4] содержат в своих свойствах проявление эффектов “Complexity” (такие как прозрачность фрактальных границ раздела для электромагнитных волн различной длины; преобразование диэлектрических свойств сложных материалов и т.д.).

Главное отличие радиационной “Complexity” – генерация радикально новых свойств (эмерджентность), не принадлежащих исходным материалам. Условиями такого процесса эмерджентности являются комбинирование нелинейных свойств среды, типов радиации или того и другого (парадигма “Complexity”). Игнорирование новой парадигмальной сетки может привести к потере наиболее важных, принципиальных свойств объектов, облучаемых соответствующей радиацией. Примерами здесь могут служить следующие: при облучении такого объекта как углеродная нанотрубка, базовым свойством которой является хиральность, хиральность вообще выпадает из поля зрения; при облучении стекол и сильно легированных оксидных материалов, которые ныне применяются в рамках теории спиновых стекол и характеризуются фрактальностью, понятие фрактальности вообще не упоминается; при изучении процессов сегрегации и образования нанозародышей, когда возможны большие флуктуации, форма наночастиц и их самоорганизация из-за большой нелинейности адсорбции атомов, управляющая нелинейность вообще не принимается во внимание. При исследовании радиационных процессов в полимерах, где важнейшую роль играет фрактальность иерархических структур, анализ ограничивается идеями прошлого века. В этой связи нелишне напомнить слова А. Пуанкаре о том, что никакая отдельная новая информация в горизонтальной плоскости науки не может заменить значения новой научной концепции при движении вверх по вертикали. Именно такой концепцией и является “Complexity”.

1. B.L. Oksengendler et all. “Nanofractals, Their Properties and Applications” // Horizons in World Physics. 2019. V. 298. P. 1 – 36.
2. Оксенгендлер Б.Л., Сулейманов С.Х. Аширметов А.Х., Тураева Н.Н., Зацепин А.Ф. “Селективное радиационное воздействие на полимеры и его применение к деградации актуальных вирусов” // Труды XXX Международной конференции «Радиационная физика твёрдого тела». Севастополь, 24 – 29 августа 2020 г. С. 457 – 466.
3. Азимов С.А., Сулейманов С.Х. Мухамедьяров К.С. “Оптическая прозрачность кварцевых стекол, полученных методом радиационного плавления” // Препринт 69-88-М, Физико-технический институт НПО “Физика-Солнце” АН РУз, Ташкент, 1988 г.
4. Сулейманов С.Х. Заугольникова Е.Г. Нефедов Г.Б. Султанов Ш.Ш. “Диэлектрические свойства стеклокристаллических материалов” // Препринт 73-88-М, Физико-технический институт НПО “Физика-Солнце” АН РУз, Ташкент, 1988 г.

CATALYZED SYNTHESIS OF NOVEL STRUCTURES INSIDE A CARBON NANOTUBE

U. Khalilov[1,2], D. Husanova[1], M. Yusupov[1,2], S. Z. Mirzaev[1] and E. C. Neyts[2]
[1] Department of Thermal Physics of Multiphase Systems, Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of Uzbekistan Academy of Sciences, Durmon Yuli Str. 33, 100125, Tashkent, Uzbekistan
[2] PLASMANT Research Group, NANOLab Center of Excellence, Department of Chemistry, University of Antwerp, Universiteitsplein 1, 2610, Antwerp, Belgium
e-mail: umedjon.khalilov@uantwerpen.be

The possibility of confinement effects inner cavity a carbon nanotube provides new application opportunities, e.g., growth of novel carbon nanostructures. A comprehensive understanding of the synthesis mechanisms motivates controlled formation of nanomaterials with controllable dimensions.

In our simulation-based study, we investigate the Ni-catalyzed growth mechanism of encapsulated carbon nanostructures from different carbon and hydrocarbon precursors using reactive molecular dynamics (MD) simulations and first-principles (DFT) calculations.

In particular, we find that the structure (i.e., fullerene, carbon nanotube, carbyne or graphene nanoribbon) growth is determined by a catalyst-vs-feedstock competition effect, i.e., Ni catalyst facilitates the chain-ring-cap transformations, while H atoms delay or prevent such transformations [1]. Obviously, all encapsulated structures contain metal (Ni) atoms. The morphology of the obtained structures is analyzed and compared to experimental results. We find that that the stability of the Ni-containing structures is less than the stability of their pure counterparts [1]. Consequently, we study the oxidation-based purification mechanism of these structures [1]. Also, we find that both hydrogenation and fluorination of grown carbyne result in structural changes and semiconducting to metallic transition [2, 3]. In addition, we study the electronic transport in partially hydrogenated carbyne and interface structures consisting of pristine and functionalized carbyne [3].

In general, this study opens a possible route to the controllable synthesis of new chain, tubular and planar carbon structures with tunable electronic transport properties.

1. Khalilov, U., Neyts, E.C., Mechanisms of selective nanocarbon synthesis inside carbon nanotubes. *Carbon 171 (2021) 72-78*
2. Khalilov, U., Vets, C., H., Neyts, E.C., Catalyzed growth of encapsulated carbyne. *Carbon 153 (2019) 1-5*
3. Berdiyorov, G.R., Khalilov, U., Hamoudi, H., Neyts, E.C., Effect of chemical modification on electronic transport properties of carbyne. *J Comput Electron 20, 848-854 (2021)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ «КВАЗИМОЛЕКУЛ» СЕРЫ В КРЕМНИИ

Ш.И. Аскаров, Б.З. Шарипов, Ш.К.Салиева, Б.Ибрагимова
Ташкентский Государственный технический университет

В процессе диффузионного легирования кремния с серой (Si<S>) в объёме кристалла образуются наноразмерные «квазимолекулы» состоящих из четырех центров замещения серы расположенных в соседних узлах кристаллической решетки. Такие «квазимолекулы» являясь многозарядными примесными центрами с анизатропными сечениями захвата ($S_n >> S_p$) для неравновесных носителей тока оказывает существенное влияние как механизм токапереноса, так и рекомбинационные характеристики материала. Благодаря этому кристаллы (Si<S>) являются уникальным материалом для разработки на их основе различных высокочувствительных датчиков электромагнитного излучения, давления, магнитного поля и т.д. Чувствительность таких датчиков во многом определяется именно с концентрацией «квазимолекул» серы. В связи с этим целью настоящих исследований является определение оптимальных технологических условий легирования кремния с серой, позволяющих управлять концентрацией «квазимолекул». Возможно две способа управления концентрацией серы:

- варьируя температурой легирования;
- варьируя давлением паров диффузанта.

Сравнение концентрации «квазимолекул» возможно осуществлять путем сравнения величины фототока и остаточной проводимостью (ОП) в кристаллах Si<S> при одинаковых условиях. Учитывая, что фотоэлектрические свойства образцов Si<S> сильно зависят от типа проводимости и удельного сопротивления материала, к исследованиям подвергались кристаллы p - типа проводимости с удельным сопротивлением $5 \cdot 10^4$ Ом · см.

Тогда как в кристаллах Si<S>с исходной концентрацией бора $2 \cdot 10^{16}$ $см^{-3}$ изготовленных при различных давлениях паров диффузанта (0,5 ÷ 4) атм, по мере увеличения p_s величина фототока и ОП монотонно увеличивалось вплоть до 2 атм, несмотря на то, что по мере снижения p_s температура легирования увеличивался. А дальнейшее увеличение p_s приводило к снижению величины ФП и ОП.

Анализируя результаты исследований можно отметить, что концентрация «квазимолекул» серы в кристаллах Si<S> не зависят от температуры легирования и в основном определяется величиной p_s. При этом максимальная концентрация «квазимолекул» в кристаллах Si<S> достигается при $p_s = 2$ атм.

В конце работы приводится объяснения по какой причине концентрация «квазимолекулы» в кристаллах Si<S> немонотонно зависит от p_s.

МИГРАЦИЯ ВАКАНСИЙ К ПОВЕРХНОСТИ В КРИСТАЛЛАХ LaF_3

Ф.Р. Ахмеджанов, С.З. Мирзаев, Т.Ш. Мустафаев, Г.С. Нуждов
Институт Ионно-плазменных и лазерных технологий Академии наук Республики Узбекистан. Ташкент 100125, ул. Дурмон йули, 33.
nujdov_g@mail.ru

Известно, что проводимость суперионных материалов существенным образом зависит от температуры, а именно - при достижении некоторой температуры эти материалы переходят из низкопроводящего в высокопроводящее состояние, когда проводимость может достигать значений ~ 10^{-4}–10^{0} См/см [1]. Проводящее состояние сопровождается разупорядочением одной из подрешеток, напоминающим позиционное “плавление”. Ионы другой подрешетки образуют жесткий каркас. Таким образом, СИ проводимость определяется высокой подвижностью одного сорта ионов в жесткой подрешетке, образованной ионами другого сорта.

Объектом изучения был выбран суперионный кристалл LaF_3, являющийся представителем группы редкоземельных трифторидов LnF_3 (Ln=La, Ce, Pr). Структура LaF_3 соответствует тригональной сингонии с пространственной группой $P\bar{3}c1$ и шестью формульными единицами в элементарной ячейке. В решетке LaF_3 имеются три типа структурно неэквивалентных ионов фтора – F_1, F_2 и F_3, соотносящихся по числу ионов как 12:4:2, и представляющих подвижную подрешетку ионов [2].

Как известно [1], одним из наиболее вероятных механизмов переноса ионов является вакансионный механизм. Вместе с тем такие важные в прикладном смысле вопросы, как перенос ионов и их вакансий в кристалле на заметное расстояние и влияние поверхности на соответствующие энергетические параметры все еще остается открытым.

В настоящей работе путем моделирования изучен процесс перемещения вакансии иона фтора на поверхность кристалла. Расчеты проводились при помощи программы квантово-химических расчетов MOPAC 2016. На первом этапе вычислялась энергия образования кристаллической решетки с вакансией в центре, а затем на место этой вакансии перемещался ион фтора, находящийся в соседней полуплоскости, расположенной ближе к поверхности. Затем опять вычислялась энергия образования кристаллической решетки. Эта операция повторялась по шагам столько раз, пока вакансия не оказывалась на поверхности кристалла. При этом устанавливалась разность энергий между решеткой с вакансией в ее центре и всеми остальными решетками кристалла, в которых вакансия перемещена к поверхности.

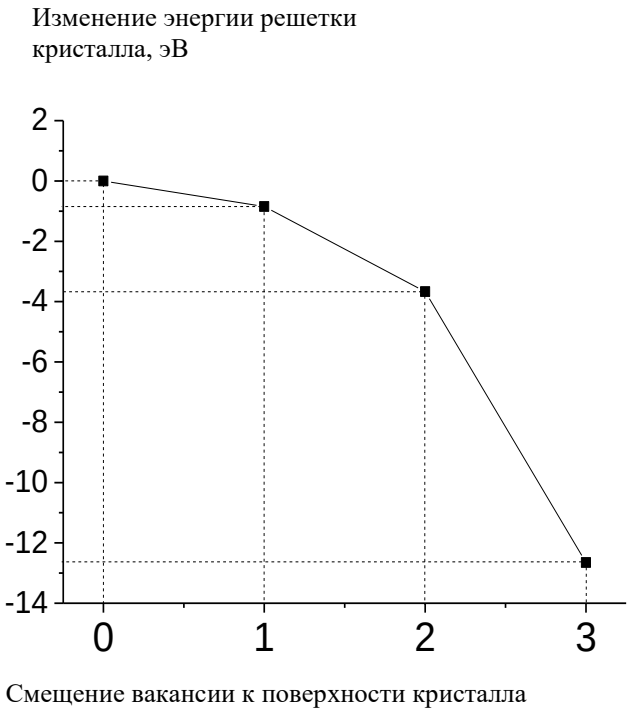


Рис.1

Результаты расчета представлены на рисунке 1, на котором показано изменение энергии решетки кристалла при «всплытии» вакансии на его поверхность. Хорошо видно, что перемещение вакансии на поверхность кристалла является энергетически более выгодным для решетки, чем погружение вакансии с поверхности внутрь кристалла. Таким образом, даже при наличии некоторого числа вакансий внутри напыленного слоя, все они через определенное время “всплывут” на поверхность, что очевидно увеличит проводимость суперионного кристалла за счет процесса ионного переноса по поверхности.

1. Ю.Я. Гуревич, Ю.И. Харкац. Суперионные проводники. М.: Наука. 1992. 244 с.
2. Н.И. Сорокин, Б.П. Соболев Собственная фтор-ионная проводимость кристаллических матриц фторидных суперионикоов: BaF_2 (тип флюорита) и LaF_3 (тип тисонита). Физика твердого тела, 2019, том 61, №1, с. 53-58.
3. MOPAC 2016,, James J. P. Stewart, Stewart Computational Chemistry, Colorado Springs, CO, USA, http://openmopac.net.

ANALYSIS OF NANOPARTICLE SIZE DISTRIBUTION BY NANOSIGHT

K.B.Egamberdiev, A.N.Payzillaev, V.F.Nematov, S.Z.Mirzaev
Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, 33 Durmon yuli St., Tashkent 100125, Uzbekistan
kegamberdiev@yandex.ru

As state-of-the-art technologies are quick being applied to a broad range of investigation and industry fields, the capability to precisely test and describe nanoparticles (NPs) is becoming vitally essential [1]. A lot of techniques are already available to measure size of micro- and nanoparticles, including SEM, TEM, SEC, AUC, DLS and AF4. Unfortunately, these have restrictions such as limited quantitative data, low throughput, extensive data analysis and high cost [2]. Among these methods, DLS is mostly suitable to measure size of NPs in liquid systems. It provides comparatively correct sizing for nanoparticulate systems. However, challenges and problems regarding to methods are that the appearance vast nano-aggregates leads to a bias along larger side of nanoparticle size distribution and determination of particle concentration is impossible [3]. Nanoparticle tracking analysis (NTA) solves many of these restrictions and is quickly becoming a superior technique for physical properties of NPs. The colloid or disperse solution are irradiated by red and green laser, and captured of the nanoparticles scattering light in the solution is recorded as a video file by a microscope coupled to a high resolution sCMOS camera. The NTA software uses the recorded videos to identify and track the spatial movement of every particle in the viewing frame in 2 dimensions. Using the Stokes-Einstein equation, the diffusion coefficient of individual nanoparticles is calculated from the video and converted into a hydrodynamic diameter to obtain a particle's size [4].

To obtain the size distribution of silica nanoparticles less than 100 nm is still challenging by NTA. The silicon dioxide NPs scatter a light poorly and in spite of some ca. 30 nm NPs are tracked and detected, the nanoparticle population fall below the limit of accurate sizing [7]. Therefore in this research, we sought to elucidate whether the size distribution profiles of synthetic 40 nm (average primary particle size) SiO_2 NPs (Aerosil OX50, Evonik, Germany) using NTA were affected by concentration of NPs. SiO_2 NPs were diluted in deionized water until the concentration was acceptable for NTA measurements, i.e. from 10^7 to 10^9 total particles per ml of water. Before measurements SiO_2 NPs in 50 mL water were ultrasonicated by disperser under 44 kHz frequencies. NTA measurements were performed with a NanoSight LM10 (Malvern, United Kingdom), equipped with a sample chamber with a 640 nm and 405 nm laser. The samples were injected in the sample chamber with syringe pump until the liquid reached the tip of the nozzle. All measurements were performed at room temperature.

The nanoparticle size distribution obtained for SiO_2 NPs-water systems by NTA measurements is shown in Figure.

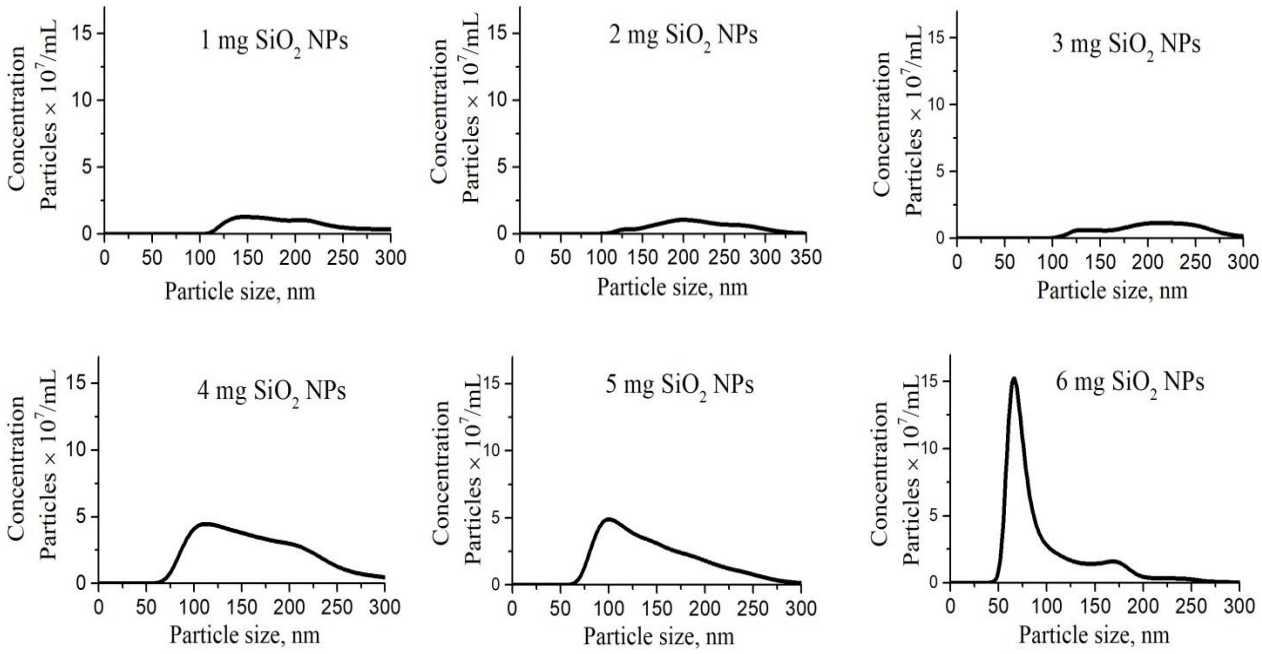


Figure. Nanoparticle size distribution from NTA NanoSight LM10 measurements of SiO_2 NPs - water systems.

As shown in Figure, the size distribution was strongly dependent the concentration of SiO_2 NPs. At lower concentration, nanoparticle size population shifted toward larger NPs and was observed blurriness of the size distribution. Exact peak appeared and shifted to smaller NPs (approximately 60 nm) with increasing the concentration of SiO_2 NPs.

Here, we identify optimal concentration of SiO_2 NPs in order to obtain narrow size distribution that can substantially affect nanoparticle count and size measurements. Additional investigations will be necessary in order to understand the effects of water molecules to silica NPs.

1. Roco M. Netherlands: View of Nanotechnology Development: The National Nanotechnology Initiative at 10 Years. Springer; 1-28, 2011.
2. Hole P, Sillence K, Hannell C, et al. Interlaboratory comparison of size measurements on nanoparticles using nanoparticle tracking analysis (NTA). *J. Nanopart. Res*.15:2101, 2013.
3. Frisken B. J. Revisiting the method of cumulants for the analysis of dynamic light-scattering data. *Appl Opt.* 40 (24):4087-4091, 2001.
4. Tuoriniemi, J., Johnsson, A. C. J., Holmberg, J. P., Gustafsson, S., Gallego-Urrea, J. A., Olsson, E., Hassellöv, M.). Intermethod comparison of the particle size distributions of colloidal silica nanoparticles. *Science and technology of advanced materials*, *15* (3), 035009, 2014.

MOLECULAR DYNAMICS SIMULATION OF GRAPHENE GROWTH ON VARIOUS Ni FACETS

E. Bakirov[1], Kh.Yu. Rakhimov[2], S.Z. Mirzaev[2], and U. Khalilov[2,3]
[1]Physics Dept., National University of Uzbekistan, Tashkent 100174, Uzbekistan
[2]Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Tashkent, Uzbekistan
[3]Department of Chemistry, University of Antwerp, 2610 Antwerp, Belgium
e-mails: kh.rakhimov@gmail.com
umedjon.khalilov@uantwerpen.be

The discovery of graphene has opened up an entirely new field in contemporary physics due to its potential application in nano-electronics and nano-devices[1,2]. Therefore, the growth of graphene has been demonstrated by several groups[3-5]. Among of other growth techniques a catalyzed growth allows an inexpensive and high-throughput growth of graphene. Dispute of tremendous efforts, the nucleation stage of the graphene growth is, however, still lucky. Alternatively, computer simulations can help to understand the growth onset. Especially, Molecular dynamics (MD) simulations clarified several intermediate growth processes[6,7]. Nevertheless, the effect of catalyst surface on the graphene germination is still not understood.

In this work, therefore, we choose to simulate the growth of graphene patches on the Ni(100), Ni(110) and Ni(111) facets using reactive MD simulations. ReaxFF-based MD simulations were performed using LAMMPS[8]. We take on a 20 Å thick vacuum along the z-axis and periodic boundary conditions along the x and y directions. Carbon atoms were randomly deposited on the Ni(100), Ni(110) and Ni(111) facets at different substrate temperatures (800 K-1100 K). We know that the Ni(100) facet is less closely packed compared to the Ni(111) structure. Therefore, our simulation-based results show that the adsorption of molecules on the surface and their clustering occur faster on Ni(111) facet than on Ni(110) and Ni(100) facets. Furthermore, the carbon diffusion barriers for segregation is smaller on the Ni(100) facet. Moreover, the ratio of deposited carbon atoms to segregated carbon atoms decreases upon increasing temperature. In overall, these preliminary results indicate that the control the graphene growth mechanism is possible by choosing carefully the catalyst surface.

1. C. Lee, *et al.*, Science **321**, 385-388 (2008).
2. K.S. Kim, *et al.*, Nature **457**, 706-710 (2009).
3. J. C. Shelton, H. R. Patil and J. M. Blakely, Surf. Sci., **43**, 493–520 (1974).
4. A. K. Geim and K. S. Novoselov, Nat. Mater., **6**, 183–191 (2007).
5. E. C. Neyts, *et al*., Nanoscale, **5**, 7250-7255 (2013).
6. Y. Wang, *et al.*, J. Am. Chem. Soc. **133**, 18837-18842 (2011).
7. U. Khalilov, A. Bogaerts and E.C. Neyts, Nanoscale, **6**, 9206-9214 (2014).
8. https://www.lammps.org/

НАНОСТРУКТУРНЫЙ ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ, ПОЛУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ МЕТОДОМ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

Т.К.Турдалиев, Х.Б.Ашуров
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АНРУз, ул.Дурмон йули 33, 100125, город Ташкент
e-mail: temurturdaliev@gmail.com

Солнечные панели на основе кремния, несмотря на появления новых видов фотовольтаических структур занимает львиную долю в производстве. Главный фактор данной тенденции — это цена полупроводникового кремния, которая становится дешевле, в то время, как качество, то есть чистота самого материала растет[1]. На КПД кремниевых фотовольтаических солнечных панелей положительно влияет улучшение токоотводов, формирование антиотражательных слоев, отвод тепла и т.д. Одним из путей создания антиотражающего покрытия может служить такая модификация поверхности, при которой преломлённый луч света способен покинуть поверхности с очень малой вероятностью. При этом метод, по которому можно было бы получить такую поверхность, должна быть масштабируемый и не дорогой.

Перспективным в этом плане может быть использован пористый кремний[2] с нанокриссталлической структурой. Слои пористого кремния могут включать в себя кристаллический кремний, стереохимический и дефектный оксид кремния, а также разупорядоченный и аморфный кремний[3]. Для солнечных фотовольтаических структур важно однородность и точное предсказуемость выращиваемых слоёв. В этой связи, создание технологии, позволяющей получать наноструктурированный пористый кремний, точно заданными параметрами является актуальной задачей[4]. Кроме того, эффект фотолюминесценции что характерен для пористого кремния с нано кристаллитами, даёт в перспективе увеличить эффективность солнечных фотовольтаических структур не только за счет не отраженного света, но и от вторичного излучения.

Наиболее распространенным из существующих способов получения пористого кремния является метод электрохимического травления монокристаллического кремния. Оптимальные параметры в данной работе были подобраны в результате ряда экспериментов и спектрометрического контроля за кристалличностью и размерностью, получаемого в результате каждого из проведенных экспериментов.

Образцы исследовались с использованием спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) на InVia Raman Spectrometer «Renishaw», с длиной волны излучения 785 нм и исследования на фотолюминесценцию образцов с лазером длиной волны излучения 325 нм.

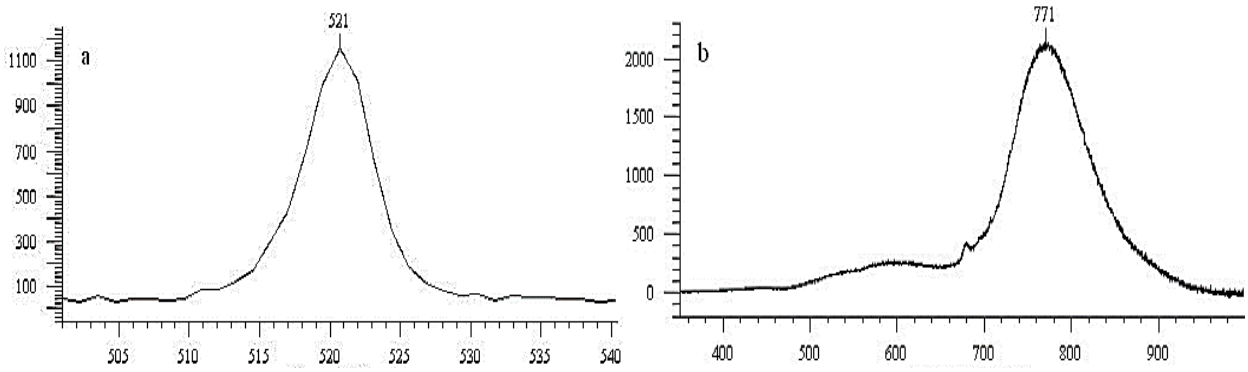


Рис.1. a) спектр комбинационного рассеяния и b) спектр фотолюминесценции

Анализ экспериментальных спектральных кривых показывает, что в полученных спектрах КРС наблюдаются относительно симметричные пики, отвечающие за наличие кристаллической фазы в образцах ~ 520 cm^{-1}. Как известно, аморфный кремний в нанокомпозитах кремния может проявиться в спектре КРС в виде широкой рамановской структуры в области 480 $см^{-1}$. Данный факт используется как для обнаружения аморфной составляющей в структуре образцов, так и для определения, при необходимости, соотношения аморфной и кристаллической составляющих в структуре образцов кремния. Таким образом, анализируя спектры КРС наших образцов, можно сделать вывод о том, что выращенные нами образцы имеют нано кристаллическую структуру и не имеют аморфную составляющею. Учитывая то, что, как известно, аморфные частицы люминесцировать не могут из-за обилия оборванных связей, получение нами спектров фотолюминесценции наших образцов дополнительно указывает на нанокристаллический характер их структуры. Положение максимумов пиков фотолюминесценции в области 771 нм указывает на отсутствие в фазовом составе образцов дефектного оксида кремния, при наличии которого в поверхностном слое пористого кремния, снижаются фотолюминесцентные свойства пористого слоя и смещается в сторону меньших длин волн пик фотолюминесценции.

1. Kh.B. Ashurov, T.K Turdaliev, R.Kh. Ashurov // Innovations for the solar industry: new chlorine-free technology of polisilicon production // Proceeding of the Tashkent international innovation Forum, Tashkent, 2015, p. 208
2. Canham, Leigh (Ed.) Handbook of Porous Silicon // ISBN 978-3-319-71380-9
3. Faraci G. at. al. Modified Raman confinement model for Si nanocristals // Phys. Rev. B. 2006. V. 73. P. 033307 (4 p.). DOI: 10.1103/PhysRevB.73.033307
4. R.Kh. Ashurov, T.K. Turdaliev, I.K. Ashurov, *et al.* Crystallinity and size control of silicon nanoparticles synthesized from monosilane in glow-discharge plasma. *Appl. Sol. Energy* 53, 334–337 (2017). https://doi.org/10.3103/S0003701X17040028

ПЛАЗМОННЫЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ В ЭЛЛИПСОИДАЛЬНЫХ НАНОСТРУКТУРАХ МЕДИ

А.Ш.Вагапов[1*], А.Н. Киряков[1], А.Ф. Зацепин[1], Б.Н. Оксенгендлер[1,2,3]
[1]Уральский Федеральный Университет, Мира 21, Екатеринбург, Россия
[2]Институт материаловедения НПО «Физика-Солнце» АН Уз, пос. Солнце, Узбекистан
*[3]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АН РУз, Ташкент, *e-mail: Alexander1705q@icloud.com*

В последнее время отмечается повышенный интерес к плазмонным наноматериалам, которые способны усиливать физико-химические свойства различных устройств. Так, эффект поверхностного плазмонного резонанса (ППР) способен увеличивать квантовый выход редкоземельных ионов, повышать эффективность нанофотокатализаторов, а также усиливать Рамановские колебания поверхностных молекул в наночастицах (SERS-эффект). Управлять эффектом ППР можно путем изменения размеров и формы наночастиц, а также путем создания фрактальной поверхности в плазмонных наночастицах, поскольку эффект ППР чувствителен к изменениям подобного рода [1]. Глобальный вызов плазмоники в современное время – эффективная конверсия аккумулированной энергии в результате плазмонного резонанса.

Формирование наночастиц металлов в матрице диэлектрика можно провести методом ионной имплантации. Перспективным материалом являются тонкие пленки алюмомагниевой шпинели (АМШ) $MgAl_2O_4$, которые обладают высокой химической и радиационной стойкостью и их легко интегрировать в оптические устройства. Вследствие чего, целью нашей работы является синтез плазмонных наночастиц меди в тонких пленках и керамиках АМШ, исследование их спектроскопических особенностей ППР, а также компьютерное моделирование эффектов ППР.

Аттестация образца проводилась методами РФА, спектры оптического поглощения были сняты на спектрометре Lambda 35 (Perkin Elmer), легирование ионами Cu^{2+} выполнено в атмосфере аргона с флюенсом $1 \cdot 10^{17}$ см$^{-2}$. Ускоряющее напряжение ионов составляло 30 кВ, время импульса 0.4 мс, ток разряда 60 А. Моделирование оптических свойств проводилось в программе DDSCAT 7.3.

Имплантация ионов Cu^{2+} с флюенсом $1 \cdot 10^{17}$ см$^{-2}$ матрицы АМШ приводит к появлению в спектрах поглощения полосы в 2.1 эВ, характерной для поверхностного плазмонного резонанса наночастиц меди (рис. 1). Наличие полосы ППР свидетельствует о формировании наночастиц меди в матрице шпинели. Следует отметить несимметричность формируемой полосы. Было проведено моделирование оптических свойств эллипсоидальных наночастиц меди в программе DDSCAT 7.3 (рис. 2). Выявлено что схожая асимметричность полосы может быть вызвана эллипсоидальной формой исследуемых частиц, соотношение размеров которых составляет 3:4:5.

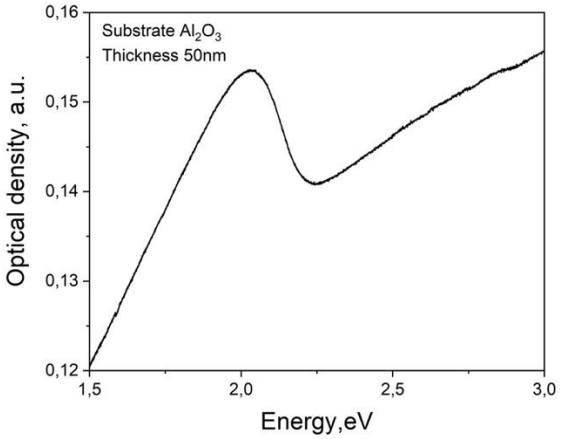


Рис.1. Полоса поглощения по механизму ППР в тонких плёнках АМШ

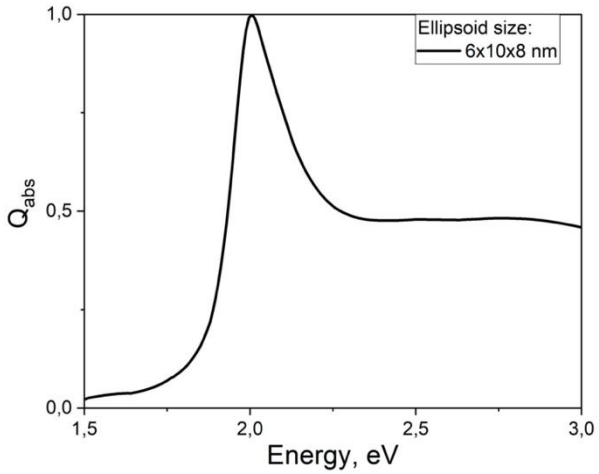


Рис.2. Смоделированная полоса поглощения по механизму ППР эллипсоидальными наночастицами меди

Экспериментально, несимметричность синтезируемых медных наночастиц исследовалась методом оптической спектроскопии в поляризованном свете. Для этого проводилось снятие спектров поглощения при поляризации падающего пучка. Облучение плазмонных частиц поляризованным светом позволяет разрешить полосу ППР на два максимума. Неэлементарная структура полосы ППР, говорит о том, что частицы имеют эллипсоидальную форму, а соответствующие моды характерны для большой и малой осей эллипсоида [2]. Это также подтверждается результатами моделирования.

Резюме. Методом импульсной ионной имплантации синтезированы плазмонные наночастицы меди. Энергия резонансного поглощения электромагнитной волны составляет 2 эВ. Ассиметричный характер полосы плазмонного резонанса, и обнаруженное 2-х модовый состав полосы оптического поглощения по механизму ППР в поляризованном свете свидетельствует об эллипсоидальности наночастиц.

1. Li M., Cushing S. K., Wu N. Plasmon-enhanced optical sensors: a review //Analyst. 2015. V. 140. №. 2. pp. 386-406.
2. Khan P. et al. Characterisation and manipulation of polarisation response in plasmonic and magneto-plasmonic nanostructures and metamaterials //Symmetry. 2020. V. 12. №. 8. pp. 1365.

ПОВЫШЕНИЕ ФАЗОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ ПРИ ДОБАВЛЕНИИ НАНОЧАСТИЦ SiO_2

С.З.Мирзаев, К.Б.Эгамбердиев, Б.А.Аллаев, О.В.Трунилина, С.К.Теляев
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им.У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, bahtiyor.74.74@mail.ru

Полиэлектролиты со сложным термодинамическим поведением, модифицированные наночастицами, позволяющими осуществлять гетерогенное равновесие многокомпонентных систем без химических реакций, широко применяются на практике, в частности, в качестве разделительных агентов. Для успешного регулирования динамики межфазных границ и достижения прогнозируемого эффекта в таких системах применяются наночастицы SiO_2 с диаметром в диапазоне от 10 до 150 нм и концентрацией от 0,1 (добавляемых в качестве водной суспензии), до 10 массовых долей (добавляемых в смесь), придающие необходимые эксплуатационные параметры. В этом случае происходит практически необратимая адсорбция наночастиц на межфазной поверхности [1-3]. Поэтому эмульсии, стабилизированные наночастицами, как правило, характеризуются высокой фазовой устойчивостью, зависящей от динамики межфазных границ, связанной с комплексным взаимодействием всех компонентов полиэлектролита. В работе рассмотрены эксперименты по использованию наночастиц SiO_2 для повышения стабильности, связанной с фазовой устойчивостью полиэлектролитов на примере разработанного и запатентованного в ИИПиЛТ АН РУз антиадгезионного разделительного смазочного состава, за счет улучшения антиадгезионных свойств состава, что позволяет существенно снизить энергозатраты. Стабилизирующее действие наночастиц SiO_2 изучалось в образцах полиэлектролита антиадгезионного состава объемом 100 мл, приготовленного по рецептуре [4] с физико-химическими параметрами согласно запатентованной методике. Дисперсионная среда состояла из бидистиллированной воды. Исследуемые образцы готовились согласно процедуре, описанной в [4], с использованием несущей среды с наночастицами SiO_2, образцы сравнения готовились аналогично, но с бидистилированной водой без наночастиц. Фазовая устойчивость образцов определялась через определенные промежутки времени (1 сут., 10, 30, 60, 90, 100, 110, 120 сут.) по выделению дисперсионной фазы и/или появлению границы расслаивания образца. Для эксперимента использовались наночастицы SiO_2 марки Aerosil диаметром от 100 до 200 нм. Суммарная концентрация наночастиц SiO_2 в непрерывной фазе составляла от 0,1 до 1,0 мас.%, что соответствует 10^7-10^8 частиц/мл. Распределение наночастиц по размерам в водной среде определялось с помощью анализатора наночастиц Nanosight LM10 фирмы Malvern согласно методике NTA (nanoparticles tracking ayalysis), используемая длина волны лазера 642 нм, представленное на рисунках 1 и 2 соответственно. Фазовая устойчивость определялась по динамике выделения дисперсной фазы и наступлению полного фазового расслаивания системы.

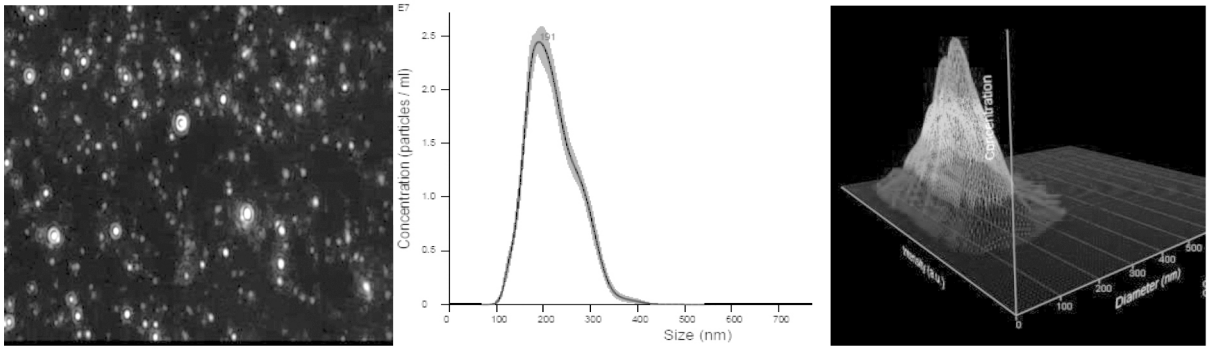


Рис.1. NTA анализ 10^{7}/мл наночастиц SiO_2 в водном растворе: в центре – распределение по размерам, слева – соответствующий видеокадр, справа – 3D-гафик зависимости размер частиц - интенсивность - концентрация

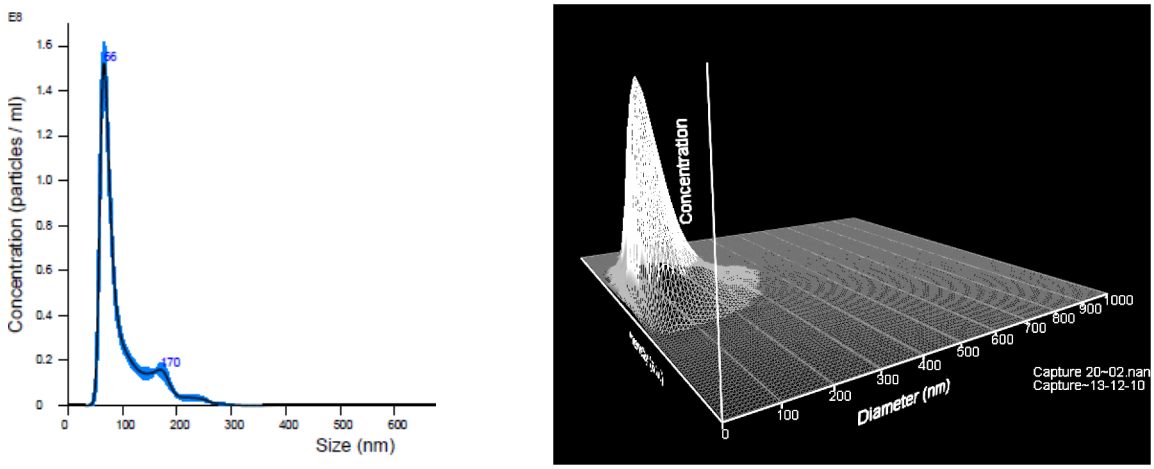


Рис.2. NTA анализ 10^{8}/мл наночастиц SiO_2 в водном растворе: слева – распределение по размерам, справа – 3D-гафик зависимости интенсивность-размер-концентрация

Анализ результатов показал, что исследуемый образец, модифицированный наночастицами SiO_2 на 20% более стабилен, чем контрольный образец. Увеличение стабильности происходит благодаря формированию устойчивых структур наночастиц на границах раздела фаз, приводящих к повышению стабильности системы в данном случае от 100 сут. до 120 сут.

1. French D.J., Taylor P., Fowler J., Clegg P.S. Making and breaking bridges in a Pickering emulsion // J. Colloid Interface Sci., 2015. ,Vol. 441. P. 30–38.
2. Быданов Д.А., Королёва М.Ю., Юртов Е.В. Влияние структуры геля, образованного противоположно заряженными наночастицами SiO_2, на седиментационную устойчивость стабилизируемых ими эмульсий // Успехи в химии и химической технологии. *ТОМ XXXI*. 2017. № 13, с. 16-18
3. М. Ю. Королева, Д. А. Быданов, Е. В. Юртов Стабилизация прямых эмульсий Пикеринга наночастицами SiO_2, модифицированными ПАВ Коллоидный журнал, 2019, том 81, № 1, с. 61–69
4. С.З. Мирзаев, О.В.Трунилина, Б.А. Аллаев Патент IAP 05688 «Паста смазочная для форм» // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан, Расмий Ахборотнома № 11, 2018, С 41

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОКАТАЛИЗАТОРА NI ДЛЯ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

И.Ж.Абдисаидов, У.Ф.Бердиев, М.М.Холиков, Х.Б.Ашуров
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им.У.А.Арифова АН РУз, Ташкент,

Аннотация: Исследованы кинетические закономерности протекания процессов восстановления нанодисперсного оксида никеля в неподвижном слое, с термической обработкой в водородном атмосфере.

Ключевые слова: нанопорошки, никель, водород, оксид, степень восстановления, неподвижный слой, термогравиметрический анализ.

Анализ состояния и тенденций развития объектов наноиндустрии в настоящее время позволяет сделать вывод о том, что одной из наиболее перспективных областей нанотехнологий является синтез углеродных наноматериалов (УНМ) – фуллереноподобных структур, представляющих собой новую аллотропную форму углерода в виде замкнутых, каркасных, макромолекулярных систем. Среди этих материалов особое место занимают углеродные нанотрубки (УНТ) или нанотубулены, которые при диаметре 1...50 нм и длине до нескольких микрометров образуют новый класс квазиодномерных нанообъектов[1]. Существуют два основных способа получения УНТ. Первый состоит в испарении графита и последующей конденсации продукта при охлаждении паров (дуговой способ). Второй основан на термическом разложении углеродсодержащих газов (chemical vapour deposition), сопровождающемся газофазным химическим осаждением (ГФХО) кристаллического наноуглерода на металлических катализаторах как нанопорошки Ni. Указанный способ также известен как CVD-процесс.

Для получения НП никеля применяют методы электрического взрыва проводников, плазмохимического синтеза и распыления расплава струей газа, которые являются высоко энергозатратными и, как правило, не позволяют контролировать свойства продукта в ходе его получения [2].

В ходе данной работы прекурсор синтезировался с помощью золь гель метода, где в дальнейшем путем термического разложения были получены наночастицы NiO. [3].

Опыты по кинетике восстановления проводились в установке созданный в лаборатории ИПЛТ АНРУз, дополнительно оснащенной печью сопротивления. Схема установки представлена на рис.1.

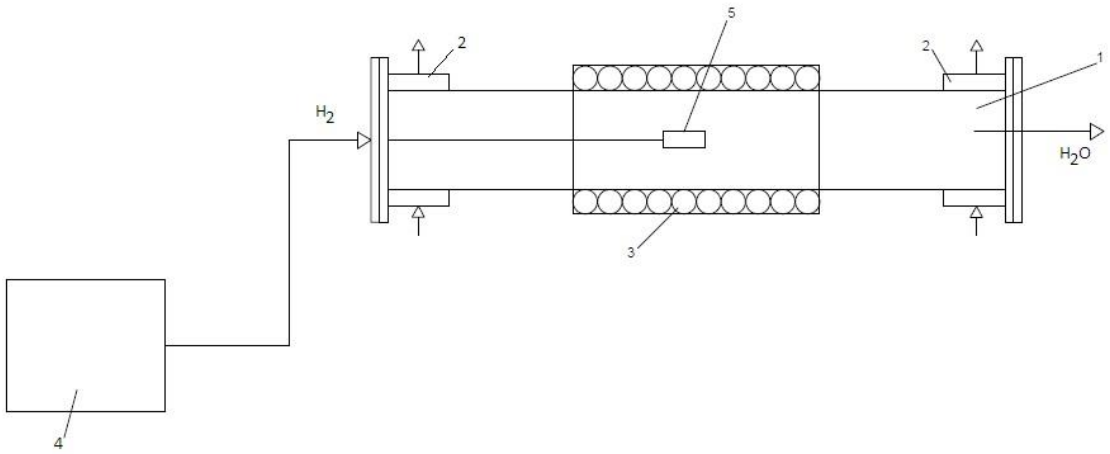


Рис.1. Установка восстановления нанодисперсного NiO в атмосфере водорода:1-реактор из кварца, 2- контур водяного охлаждение, 3-печь, 4-генератор водорода, 5-образец (NiO).

Процесс восстановления нанодисперсного NiO водородом протекает в один этап, характеризующий металлизацию однородного оксида никеля, в диапазоне t = 240÷310 °C с максимальной удельной скоростью $V_{max3} = 203{,}8 \cdot 10^{-5}$ c^{-1} при $t_{max3} = 280$ °C.

Выявлено, что процесс восстановления протекает нанодисперсного NiO образованием ноночастиц никеля до 10-100нм. Наночастицы образует гранул размером до 100 мкм и более, которые целесообразно использовать для порошковой металлургии. Процесс восстановления идет интенсивно уже при 250 °C для нанодисперсного оксида никеля.

1. С.В. Мищенко, А.Г. Ткачев, «Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение». "Машиностроение" Москва, 2008г.
2. Ryzhonkov D.I., Levina V.V., Dzidziguri E.L. Nanomaterialy: Uchebnoe posobie [Nanomaterials: Textbook]. Moscow: BINOM. Laboratoriya znanii, 2012.
3. Абдисаидов И.Ж и др. «Исследование размеров наночастиц NiO, синтезированных золь-гель методом». Международной научной конференции “Новые материалы и гелиотехнологии” 59-60ст. 20-21 мая 2021 года. г. Паркент, Узбекистан.

MECHANISMS OF SULVANITE NANOPARTICLES GROWTH IN SOLUTION

D.T. Bozorova[1], D.I. Khakimboeva[2], Z.Ch. Kadirova[2], Sh.Sh. Daminova[2], R.A. Nusretov[2], Sh.P. Gofurov[3], O.B. Ismailova[1,2]

[1]Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, [2]Uzbekistan-Japan Innovation Center of Youth, Tashkent, Uzbekistan, [3]Tsukuba University, Ibaraki-shi, Japan.

bozorova191@gmail.com

The understanding of the growth mechanism of colloidal nanoparticles and mechanism of their syntheses have received attention due to many technological applications such as biomedicine [1-2], fuel cell [3], magnetic data storage [4], photovoltaics [5]. They exhibit a unique and novel optical, magnetic, electrical, catalytic and chemical properties which are correlated with their as size, shape and crystalline structure.

In this work we present the mechanism of the synthesis of sulvanite (Cu_3VS_4) nanoparticles which were synthesis in colloidal solution. The characterization of crystal structure was analyzed using X-RAY diffraction and SEM microscopy. It has been shown that the size distribution of nanoparticles occurs in narrow size distribution (see figure. 1).

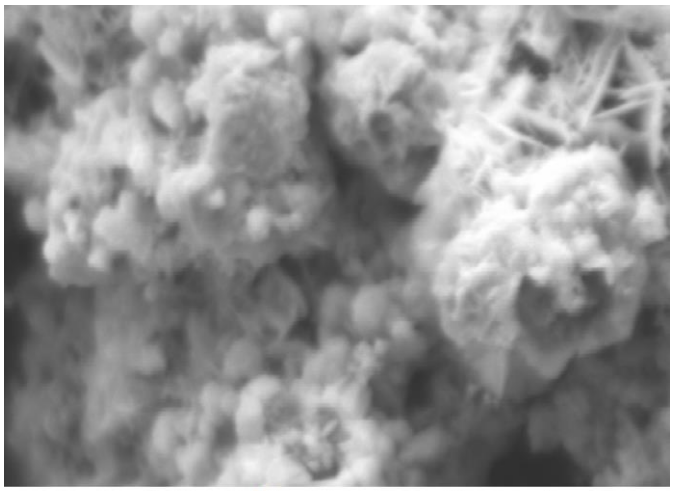


Figure.1. Crystalline structure of sulvanite nanoparticles

The process of the nucleation and growth of nanoparticles have been observed through UV-VIS spectrometer and following fluorimeter to describe the nucleation and change the size of the particles. UV-VIS spectroscopy is very informative technique to determine the particle size based on empirical formulas:

$$\frac{1240}{\lambda_{half}} = A + \frac{B}{4r^2} - \frac{C}{2r} \qquad (1)$$

and SEM microscopy, X-RAY diffraction, UV-VIS, Fluorometer combined with refractometry method were applied to determine mechanism of nucleation and growth nanoparticles.

1. Thanh, N. T. K. Magnetic Nanoparticles: from Fabrication to Clinical Applications; CRC Press, London, 2012.
2. Pankhurst, Q. A., Thanh, N. T. K., Jones, S. K., Dobson. J. J. Phys. D: App. Phys. 42, 224001 (2009).
3. Bönnemann, H., Richards, R.M. Eur. J. Inorg. Chem. 2001, 2455-2480 (2001).
4. Hyeon, T. Chem. Commun. 8, 927-934 (2003).
5. Atwater, H. A., Polman, A. Nat. Mater. 9, 205-213 (2010).

СЕКЦИЯ 7. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ И ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.

SECTION 7. INTERACTION OF LASER RADIATION WITH MATTER AND LASER TECHNOLOGIES.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГИЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ш.Д. Пайзиев
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан

Преобразование широкополосного солнечного излучения в лазерное излучение с помощью прямой или косвенной солнечной накачкой имеет потенциальную важность, поскольку лазерный луч является монохроматическим, направленным и легко контролируемым излучением с возможностью получения чрезвычайно высокой интенсивности. Потенциальное применение лазеров с солнечной накачкой может охватывать широкий спектр наземных и космических применений. Другими словами, большинство существующих или разрабатываемых лазерных технологий с электрической накачкой, для которых существует необходимость в расширении и, как следствие, в повышенном потреблении энергии, могут быть реализованы с помощью лазеров, работающих на солнечной энергии, путем создания крупномасштабных установок, генерирующих лазерную энергию. Однако, для этого необходимо сначала решить ряд проблем лазеров с солнечной накачкой. Основным из них является их низкая эффективность. Для решение этих и других проблем лазеров с солнечной накачкой, нашей группой была разработана новая статистическая модель, использование которой позволила предложить ряд новых оригинальных решений в данном направлении. В частности, в 2016 году, для повышения эффективности была предложена новая концепция, основанная на использовании внешних сенсибилизаторов как для схем торцевой, так и для поперечной накачки. С помощью симуляционных расчетов была показана возможность повышения КПД накачки до 33% в случае схемы с чистой торцевой накачкой и до 15% в случае поперечной накачки. В 2019 году был предложен новый подход для дальнейшего повышения эффективности солнечных лазеров, работающих в схеме с поперечной накачкой и этот подход благодаря использованию многопроходной схемы накачки повышает общую эффективность почти в два раза, обеспечивает наилучшие тепловые условия для активной среды в работе и для использования внешних сенсибилизаторов. Предложенная конфигурация лазера может также позволить использование лазерных материалов с относительно низкой теплопроводностью, которые в настоящее время считаются непригодными для накачки концентрированной солнечной радиацией, осуществлять поперечную накачку пучков (жгутов) оптических волокон или тонких активных сред с низкой теплопроводностью, создание многоцветного лазера путем одновременной накачки различных активных сред. Другими словами, открываются широкие возможности для создания нового поколения высокоэффективных лазеров с солнечной накачкой.

ULTRAFAST FIBER LASER-INDUCED FABRICATION OF MULTIFUNCTIONAL METAL SURFACES

G.S. Boltaev
Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Uzbek Academy of Sciences, Tashkent 1000125, Uzbekistan

Wetting properties of metal surfaces play important role in different practical and fundamental applications [1]. Freshly laser-treated samples of aluminum, copper, and galvanized steel demonstrated superhydrophilic wetting response when their contact angles are measured immediately after laser ablation [2]. Ultrafast laser-surface nanostructuring, coupled with vacuum ageing, proves to be an effective and rapid approach in achieving extreme superhydrophobic states in different metals, which makes it suitable for a wide range of self-cleaning applications [3]. The formation of well-controlled nano/micrometer-sized structures on metallic surfaces enables the modification of their optical and wetting properties. Forming such structures on the surface of biocompatible materials, in particular, can expand their applications in various areas of science and technology. Here we present results on covering tantalum (Ta), a biocompatible material, with complex nanosized structures comprising azimuthally- and radially-directed laser-induced periodic surface structures (LIPSS) by rotating the metallic sample with respect to the polarization direction of the irradiating laser pulses. For the first time, we use a high-repetition rate (150 kHz) fiber-based laser with 37 fs ablating pulses and a central wavelength of 1030 nm to form ripples that are directed both parallel and perpendicular to the laser polarization direction on the surface of Ta. Rotating the target during ablation led to forming two distinct zones of structures. The first zone, around the circumference of the target, consisted of both high- and low-spatial-frequency LIPSS, while in the second zone, at the center of the target, was covered by nanoparticles redeposition. We demonstrate how the formation of such complex structures significantly alters the optical reflectance and wetting characteristics of Ta. We demonstrate the formation of permanent and iridescent colors on aluminum, copper, steel, and brass surfaces using femtosecond laser-induced periodic and non-periodic nanostructuring. We show that both the permanent and iridescent colors of the metal surfaces can be erased and re-colored using a second stage of laser processing. A correlation was found between the spectral reflective properties of the laser-processed surfaces and their wettability properties. Transition from superhydrophilic to superhydrophobic response is observed while tailoring the optical reflectance of the metal surfaces.

1. Y. Lin, H. Chen, G. Wang, A. Liu, Recent progress in preparation and anti-icing applications of superhydrophobic coatings, Coatings 8 (2018) 208
2. S.A. Khan, G.S. Boltaev, M. Iqbal, V.V. Kim, R.A. Ganeev, and A.S. Alnaser, “Ultrafast fiber laser-induced fabrication of superhydrophobic and self-cleaning metal surfaces expedited by vacuum ageing,” Applied Surface Science 542, 148560 (2021).
3. A.S. Alnaser, S.A. Khan, R.A. Ganeev, E. Stratakis, Recent advances in femtosecond laser-induced surface structuring for oil–water separation, Appl. Sci. 9 (2019) 1554.

LASER-DESORPTION MASS – SPECTROMETRY OF NANOCOMPOSITES OF PHTHALONITRILE POLYMERS AFTER PRELIMINARY HEAT TREATMENT

N.A.Gavrylyuk[1], B.M.Gorelov[1], T.Yu.Gromovoy[1], O.G.Melnychuk[2], A.M.Fainleib[2]

[1]Chuiko Institute of Surface Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, 03164 Kyiv, Gen. Naumov str.,17, n_afanasiyivna@ukr.net

[2]Institute of Macromolecular Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, 02160 Kiev, Kharkiv highway, 48

Phthalonitrile polymers (PNP) due to high radiation and thermal resistance are promising materials for the modern technologies and the subject of intensive studies of their structural characteristics. Structurally, PNP reveals itself in heat destruction process as a weakly coupled two-phase system. The low-temperature phase (LTP) decomposes using the thermooxide mechanism at temperature range T≤450 ^{o}C, and the high-temperature phase (HTP) differs by the thermal destruction mechanism at T≥450 ^{o}C.

To operate the PNP functional parameters, it is necessary to establish the optimal content of two phases and the ways to enhance the interaction between phases. In this work, the LTF content variation effect using three 6 and 8 h pre-heat treatments to 300 ^{o}C on the heat destruction of PNP and its composites with amino-functionalized nanomontmorillonite (MMT IZ0) (0.03, 0.1, 1 and 3 %) and silica A-300 (1 %) have been studied. The measurements were performed by desorption mass spectrometry using an AUTOFLEX II mass spectrometer (Brucker Daltonics, Germany).The samples were irradiated by a UV laser with a wavelength 330 nm, a pulse duration 3 ns and a pulse energy 40 μJ. The temperature of samples in the ablation zone was not less than 1000 K.

Mass spectra of PNP samples unmodified in the mode of negative ions and modified with montmorillonite (1.0 and 2.0 %) in the modes of positive and negative ions and silica A-300 (1 %) in the mode of negative ions were obtained. It was found that at low MMT content (0.03 and 0.1 %) the heat resistance of composites markedly increases. The mass spectrum of the initial PNPcontains the negative destruction fragments with $m/z \leq 600$ D. The mass spectra of composites with MMT content of 1 and 2 % in the mode of positive ions are identical and contain 7 lines at $m/z \leq 110$ D. In their spectra of negative ions with $m/z \leq 150$ D, the series of lines of heterocycles and benzene rings bound with fragments of the C_nH_m and C_nN_m type are recorded. The mass spectrum of composite with silica in the range $m/z \leq 500$ D differs significantly from the spectra of composites with MMT by the exhibition of equidistant lines at $150 \leq m/z \leq 500$.

Thus, variations in the content of LTF in PNP composites with nanoparticles, having a weak and strong surface reactivity, significantly change the polymer structure of the composites in different ways. It is significant that at low MMT content there is a marked increase in heat resistance of PNP composites with MMT.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ В ВОДНО-СПИРТОВЫХ РАСТВОРАХ.

Э.У.Арзикулов, Ф.А.Салахитдинов, С.Н.Сражев, М.Д.Ташбоев, У.А.Усмонов

Самаркандский Государственный университет

muzaffartashboyev@gmail.com

Водно-спиртовые растворы представляют собой сложную систему, свойства которой нелинейно зависят от количественного соотношения компонентов. Особенность колебательных спектров воды и водных растворов в том, что взаимодействия молекул в жидкости приводят к уширению полос в спектре, при этом для полосы валентных колебаний СН- ОН групп колебаний частотой 2600…4000 $см^{-1}$ наблюдается значительное перекрывание линий [1].

Сложность исследования валентной в колебательном полосы спектре воды заключается в том, что контур полосы представляет собой широкую, практически бесструктурную кривую. Это связано с тем, что наряду с межмолекулярными взаимодействиями, которые свойственны простым жидкостям, в воде и водных системах присутствуют водородные связи, приводящие к коллективным тепловым движениям и ассоциированным структурам. Спектры комбинационного рассеяния света водно-спиртовых растворах и жидкой воды получены на автоматизированной установке на базе монохроматора МДР-23У. В качестве источника возбуждения использовалось излучения лазера с диодной накачкой (DPSS) с длиной волны 532 нм, мощность излучения Р=50 мВт. На рис 1, приведена измеренный спектр комбинационного рассеяемя света водно-спиртовых растворах диапазоне концентраций этанола 0,30,40,70% в водном растворе.

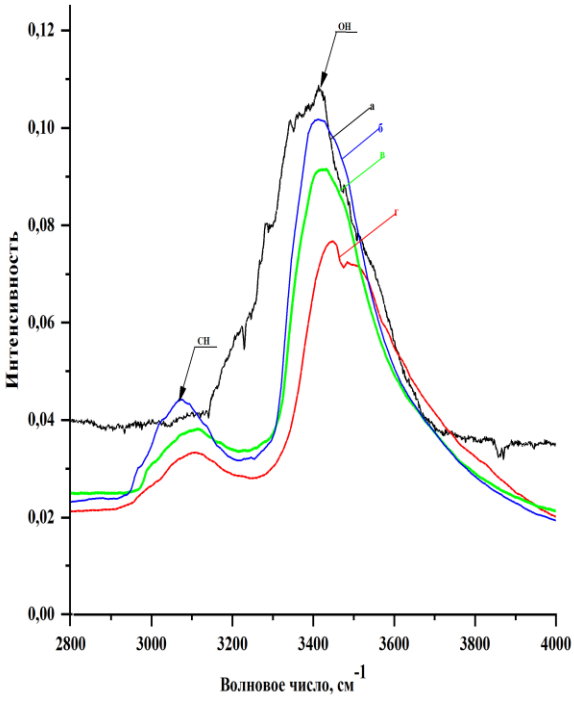


Рис. 1. Спектров КР света в водно-спиртовых растворах для концентраций этанола, а- дистиллированная вода. б-30%, в-40%, г-70%.

Спектр водно-спиртового раствора в области валентных колебаний содержит полосы валентных колебаний СН-групп, расположенные в диапазоне 2650…3050 $см^{-1}$ в спектрах комбинационного рассеяния, и полосу валентных колебаний гидроксильных ОН групп (как воды, так и спирта), которая находится в диапазоне 3000…3700$см^{-1}$ в колебательных спектрах. Концентрационные зависимости частоты максимумов спектральных компонентов показывают практически постоянное положение главных полос для каждого типа спектра, практически не меняющееся при увеличении концентрации этанола в растворе, и что не приводит к образованию новых структурных группировок молекул воды или молекул воды с этанолом.

ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК Mn_4Si_7 НА РАЗЛИЧНЫХ ПОДЛОЖКАХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ И ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ОСАЖДЕНИЯ

Т.С.Камилов[1], И.Р.Бекпулатов[1], И.Х.Турапов[1], С.Т.Абраева[1]
[1]Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан.
e-mail: bekpulatov85@rambler.ru

Получение и преобразование энергии является одним из важнейших направлений деятельности современной цивилизации [1]. Большое внимание привлекают твердотельные термоэлектрические преобразователи, которые имеют ряд преимуществ перед традиционными электрическими генераторами и холодильниками: простота конструкции, отсутствие движущихся частей, бесшумность работы, высокая надежность, возможность миниатюризации без потери эффективности.

Высший силицид марганца (ВСМ – Mn_4Si_7) обладает в нелегированном состоянии достаточно высокой термоэлектрической эффективностью с *p* - типом проводимости.

Пленки Mn_4Si_7 были получены магнетронным распылением монокристалла ВСМ, выращенного методом Брижмента на установке магнетронного распыления *EPOS-PVD-DESK-PRO.*

Пленки Mn_4Si_7 также были получены методом импульсного лазерного осаждения. На установке ВУП-5 в вакууме ~10^{-4} Па с помощью импульсного лазерного излучения получаемого от лазера ЛТИ-403 проводилось распыление кристалла ВСМ, закрепленного на вращающую мишень.

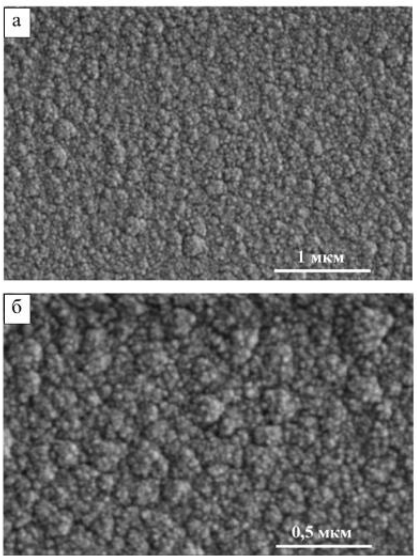


Рис.1. Структура пленки ВСМ на слюдяной подложке.

Пленки Mn_4Si_7 осаждались на предварительно окисленную при температуре 1200 °С подложку кремния. Толщина слоя SiO_2 составляла ~ 0.50 мкм. Пленки Mn_4Si_7 также осаждались на подложки из ситалла типа СТ-50-1 и на подложки из слюды толщиной ~ 10 мкм. На рис.1 приведены микрофотографии строения пленки Mn_4Si_7, полученной на поверхности слюды (рис. 1 *а* и *б*). Они показывают, что поверхность Mn_4Si_7 пленки имеет мелкозернистую однородную структуру, что говорит о достаточной гладкости полученной пленки. Сравнение термоэлектрических свойств полученных пленок Mn_4Si_7 показало, что наибольшим коэффициентом преобразования обладают пленки ВСМ, выращенные на подложке из слюды, что объясняется низкой удельной теплопроводностью слюды æ = 0.14 Вт/м·К. Пленки на SiO_2 имели меньший коэффициент преобразования, т.к. у них æ = 10 Вт/м·К. ВСМ пленки на SiO_2 обладают высоким быстродействием, а пленки на слюде и ситалле

имеют высокую чувствительность и могут быть использованы в приемниках теплового излучения волн ИК диапазона.

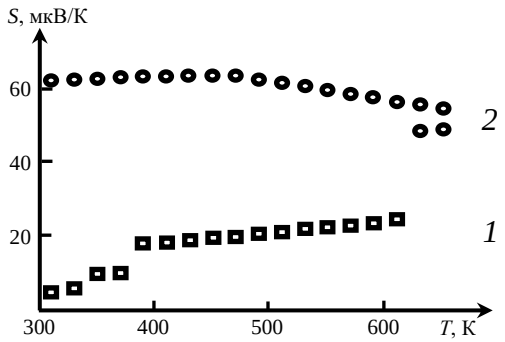


Рис. 2. Температурные зависимости термоэдс (α) пленки ВСМ толщиной d = 0,5 мкм, полученной на SiO_2 /Si подложке без отжига. где 1 - нагрев, 2 - охлаждение.

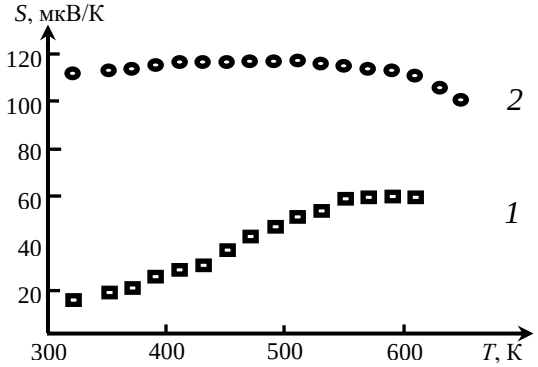


Рис. 3. Температурные зависимости термоэдс (α) пленки ВСМ толщиной d = 0,5 мкм, полученной на SiO_2 / Si подложке после отжига при 400^0 С в течении 20 мин. где 1 - нагрев, 2 - охлаждение.

Температурные зависимости термоэдс S пленки ВСМ толщиной d = 0.5 мкм без отжига и после отжига при 400 ^{0}С в течении 20 мин. приведены на рис. 2 (без отжига) и рис. 3 (после отжига) [2-4].

Видно, что после отжига S плёнки ВСМ возрастает почти в 2 раза и достигает 120 мкВ/К. Вероятно, это связано с существенным уплотнением и образованием нанокристаллических включений.

Таким образом, термоэдс пленки ВСМ при переходе из аморфного состояния в нанокристаллическое увеличивается, что связано с селективным рассеянием носителей заряда на границах нанокластеров. При переходе из нанокристаллического в поликристаллическое состояние термоэдс уменьшается.

1. Kuznetsova V.S., Novikov S.V., Nichenametla C.K., Calvo J., Wagner-Reetz M. //Semiconductors. V.53. №6. 2019P. 775-779. Doi:10.1134/S106378261906 0101.
2. Камилов Т.С., Клечковская В.В., Шарипов Б.З., Эрнст И.В., Зайцев В.К. Электрические и фототермоэлектрические свойства гетерофазных структур на основе кремния и силицидов марганца / Ташкент: “MERIYUS”, 2014. 180 с.
3. Rysbaev A.S., Bekpulatov I.R., Igamov B.D., Juraev Sh.X., Rysbaev A.A. // Eurasian journal of physics and functional materials, 2019, № 3(3), pp. 254-259. Doi: 10.29317/EJPFM.2019030307.
4. Kamilov T.S., Rysbaev A.S., Klechkovskaya V.V., Orekhov A.S., Igamov B.D., Bekpulatov I.R. // Applied Solar Energy. 2019. V. 55. № 6. P. 380-384. Doi: 10.3103/S0003701X19060057.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ КРЕМНИЯ ИОННО ИМПЛАНТИРОВАННОГО МАРГАНЦА

Э.У.Арзикулов, С.Н.Сражев, Ф.Салахитдинов, М.Д.Ташбоев
Самаркандский Государственный университет
muzaffartashboyev@gmail.com

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по изучению влияния дозы имплантации на спектры КРС в кремнии. Исследование такого рода интересны тем, что они дают возможность экспериментального определения пороговой дозы аморфизации, идентификации типа структуры имплантированного слоя и профиля исследуемого кристалла по спектрам КРС. На рис. 1 представлены дозовые зависимости спектров КРС образцов кремния имплатированного ионами марганцем с энергией ионов 40 кэВ. Как видно из рис. 1. анализируя полученный данный спектр, следует отметить, что он, наряду с другими полосами, при увеличении дозы имплантации можно выделит три полосы с максимумами при, 304, 481 и 823 $см^{-1}$ в динамике изменений спектров КРС. К этим участкам соответствуют три типа структур приповерхностного слоя, различающиеся степенью раз упорядоченности в кристаллах Si возникающие под действием ионной бомбардировки. По виду спектров КРС образцов кремния ИИ марганца с энергией 40 кэВ определены степень раз упорядоченности кристаллов кремния. При этом установлено, что при относительно малых дозах рис 1а ($3{,}1\cdot10^{12} \div 1{,}2\cdot10^{13}$) всегда имеется максимум фундаментального колебания и полосы соответствующих двух фононным процессам (полосы второго порядка).

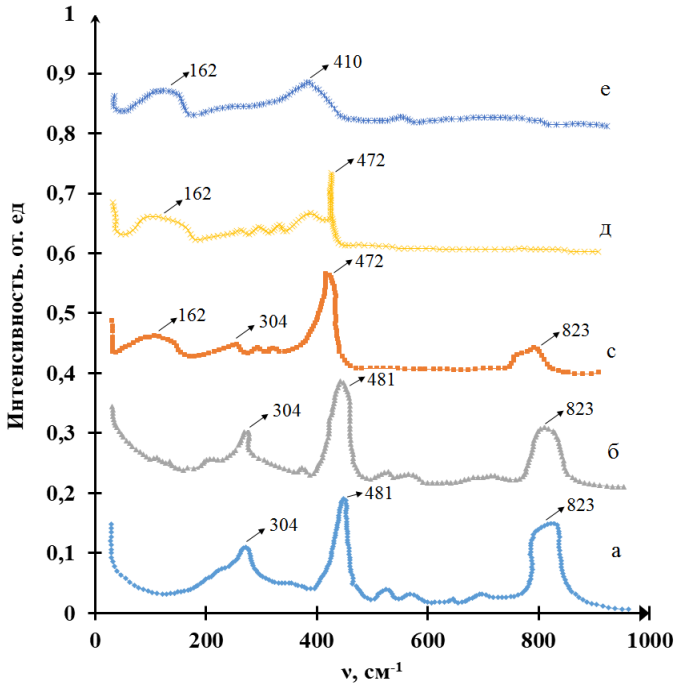


Рис. 1. Спектры КРС Si, имплантированного ионами Mn^+ (E = 40 кэВ) от дозы имплантации ($см^{-2}$): а – исходный образец; б – $3{,}1\cdot10^{12}$; с – $1{,}2\cdot10^{13}$; д – $5{,}0\cdot10^{13}$; е – $6{,}0\cdot10^{14}$.

При интервале доз рис 1с $3{,}2\cdot10^{13} \div 3{,}0\cdot10^{14}$ $см^{-2}$ в спектрах КРС исследованных образцов возникает относительно широкие полосы с максимумами 162, 304 и 472 $см^{-1}$. По-видимому, эти полосы соответствуют максимумам плотности фононных состояний в кремнии и свидетельствуют о формирование зародышей аморфной фазы.

В интервале доз рис 1д, е $3{,}0\cdot10^{14} \div 6{,}0\cdot10^{14}$ $см^{-2}$ и выше в спектре КРС наблюдаются полосы, соответствующие только аморфной фазе. Это указывает на то, что приповерхностные слои перешли к полной аморфизации.

РОЛЬ ДОМЕН РАЗМЕРОВ ПЕРИОДИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ УСИЛЕНИИ КОРОТКИХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ

О.И.Сабиров, У.К.Сапаев*

Ташкентский государственный технический университет им., И. Каримова, факультет электроники и автоматики, улица Университетская 2, Ташкент, 100095 Узбекистан

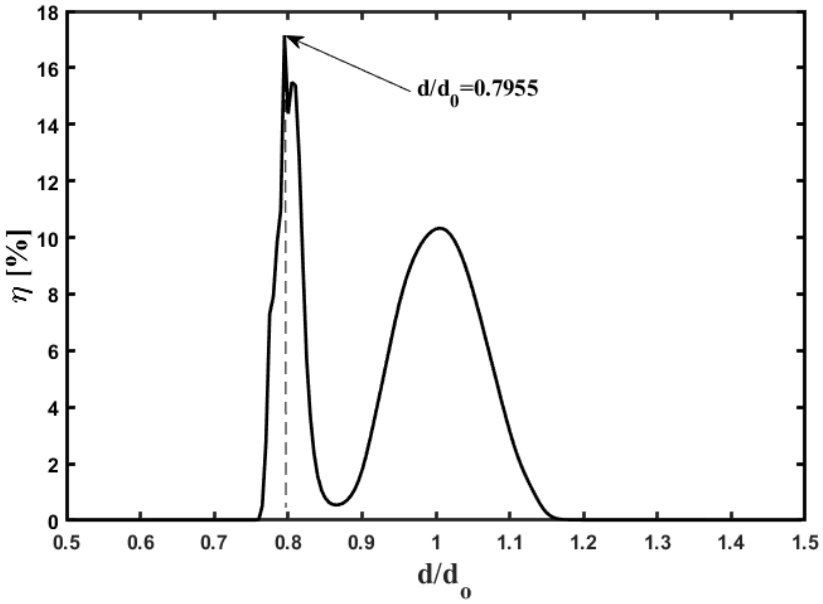
* usapaev@gmail.com

Абстракт. Численным методом проанализирован процесс параметрического усиления коротких лазерных импульсов в нелинейных фотонных кристаллах. Проанализированы влияния нелинейности третьего порядка и дисперсии среды на формирование импульса сигнальной волны. Показано, что оптимальная длина размера доменов не определяется величиной когерентной длины этого нелинейно-оптического процесса, как ранее считались.

Для решения большинства прикладных и фундаментальных задач «взаимодействие лазерного излучения с веществом» часто возникает необходимость использования лазерного излечения от тех областях спектра, где нет прямое лазерное излучение. В связи с необходимостью решением таких и других задач успешно принимается процесс параметрического усиления (ПУ) когерентного излучения в кристаллах с регулярной доменной структурой. Этот нелинейно-оптический процесс имеет ряд преимуществ по сравнению с другими аналогами. Из них самое главное- данный процесс позволяет плавно преобразовать частоты лазерного излучения, что могут прекрывать любую требуемую область спектра.

В последние годы широкое распространение получила реализация процесса ПУ лазерного излучения в нелинейных фотонных кристаллах (или те же в кристаллах с регулярной доменной структурой) [1-3]. Одна из основных причин этого заключается в том, что эти кристаллы могут быть создано к любому типу процесса преобразования частот, в том числе ПУ света.

Одним из основных требований к реализации процесса ПУ является его высокая эффективность. Для этого часто используются высокоэнергетические лазерные излучения. Это связано с тем, что высокоэффективные нелинейно-оптические процессы прямо пропорциональны к интенсивностям лазера. Известно, что когерентные источники с высокой энергией присутствуют в коротких лазерных импульсах. В свою очередь, использование коротких лазерных импульсов высокой энергии приводит к двум эффектам. Первый - это усиление влияния нелинейности третьего порядка, второй - усиление влияния дисперсии среды. Первый нежелательный эффект зависит от интенсивности падающего излучения и вызывает дополнительное изменение к показателю преломления среды. Второй приводит к задержке импульсов относительно друг друга и увеличению временной профили взаимодействующих импульсов.



Результаты для случая 10 фс: зависимость эффективности сигнальной волны от изменения размера доменов периодического кристалла

На рисунке показана зависимость эффективности сигнальной волны от изменения размера доменов периодического кристалла. Видно, что максимальная эффективность сигнальной волны получается при $d/d_0=0.7955$, а не $d/d_0=1$, где d_0 размер доменов периодического кристалла, который равен когерентной длине процесса ПУ. Как показывает расчетов, повышение эффективности сигнальной волны обусловлено компенсацией фазовых сдвигов, вызванных нелинейности Керровского типа и дисперсии среды. В дальнейшем мы показываем результаты для других случаев. Расчеты проведены для случаев: Mg:PPLN, $I_3 = 10^{15}\, W/m^2$, $I_1 = 10^{12}\, W/m^2, I_2 = 0\, W/m^2$, $\lambda_1 = 3,4\, \mu m$, $\lambda_3 = 1,064\, \mu m$, $\lambda_2 = 1,5486\, \mu m$.

Таким образом, в данной работе численным методом исследован процесс ПУ фемто- секундных лазерных импульсов в кристаллах с регулярной доменной структурой. Показано, что изменение размера доменной периодической нелинейной решетки могут значительно влияет на формирования импульса сигнальной волны.

1. Heese, C., Phillips, C. R., Gallmann, L., Fejer, M. M., Keller, U. (2010). Optics letters, 35(14), 2340-2342.
2. Myers, L. E., Eckardt, R. C., Fejer, M. M., Byer, R. L., Bosenberg, W. R., & Pierce, J. W. (1995). JOSA B, 12(11), 2102-2116.
3. Galvanauskas, A., Wong, K. K., El Hadi, K., Hofer, M., Fermann, M. E., Harter, D., Fejer, M. M. (1999). Electronics Letters, 35(9), 731-733. Bortz, M. L., Arbore, M. A., Fejer, M. M. (1995). Optics letters, 20(1), 49-51.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МАТЕРИАЛЫ

И.Ю.Давлетов*, Н.З.Хакимов, А.Ш.Раззоков, А.И.Жапаков, С.К.Отобаев
Ургенческий Государственный Университет, 220100. г.Ургенч ул. Х.Алимджана,14, Узбекистан.
ajapaqov@bk.ru

Особенности лазерного лучевого воздействия на материалы, обеспечивающего протекание так называемых «силовых» технологических процессов (резание, сварка, поверхностная закалка, очистка поверхностей и образование плазмы) требует значительных энергетических затрат. Величина таких затрат определяется тем, что каждый подобный процесс может протекать лишь в условиях, когда плотность энергии в пятне облучения превышает определенное пороговое значение. Порог не является универсальной величиной, он зависит от обрабатываемого материала, от параметров лазерного луча – длины волны, размеров пятна облучения на поверхности изделия, режима воздействия (непрерывного, частотно-импульсного или импульсного), от условий, в которых протекает процесс (в атмосфере, в нейтральной, окислительной или восстановительной среде) и т.д. В основе такой разработки присутствует знание физических факторов воздействия высокоэнергетического лазерного излучения на вещество, и знание результатов экспериментальных исследований зависимости порога плотности энергии от различных факторов.

При описании процесса воздействия лазерного излучения на твердые непрозрачные тела (металлы, полупроводники, диэлектрики) целесообразно выделить несколько стадий: нагревание без изменения фазового состояния, плавление, испарение, ионизация испаряемого вещества и образование плазмы. Если обработка материала ведется в химически активной атмосфере, то при некоторой температуре существенную роль начинают играть термохимиические процессы – окисление, образование нитридов, карбидов и проч. При некоторых условиях процесс разрушения материала лазерным излучением называют абляцией под воздействием. В современном, довольно широком понимании термин абляция включает известный механизм такого перехода вещества из твердого состояния в газообразное, как сублимация, однако им не исчерпывается.

Работу, необходимую для разрушения решетки и удаления ее частиц друг от друга на бесконечно большие расстояния (практически на расстояния, при которых силы взаимодействия между частицами пренебрежимо малы), называют энергией решетки. Эта энергия зависит от количества структурных единиц кристалла, их размеров и валентности может быть приближенно вычислена по Капустинскому из выражения (с учетом квантовомеханического характера сил отталкивания) из выражения

$$U = 287.2\frac{z_1 z_2 \sum n}{r_1+r_2}\left(1-\frac{\rho}{r_1+r_2}\right) \text{ ккал/г моль}$$

где n–число атомов, составляющих молекулу; r_1 и r_2 – радиусы ρ = 0,345-так называемый репульсивный коэффициент[1-2].

Чем больше силы связи между структурными элементами, тем тело, естественно, тверже, тем труднее его разрушить. Это значит, что в первом приближении при одинаковых типах решетки, следуя по вертикальным рядам таблицы Менделеева вниз, мы должны наблюдать понижение твердости и температуры плавления веществ, а по горизонтальным рядам вправо - их повышение. Как известно, для вычисления энергии решетки используют не только теоретические уравнения, но и так называемые экспериментальные. Экспериментальные значения энергий решеток находят из широко известного уравнения термодинамического цикла Борна - Габера.

Согласно последним исследованиям при коротких длительностях лазерных импульсов (10^{-9}-10^{-14} секунды) и огромных интенсивностях лазерного излучения ($\geq 10^{10}$ Вт/см^2) наблюдается удаление материала по другому физическому механизму. Межмолекулярные связи разрываются не как вторичное следствие высокой температуры, а как результат непосредственного перехода энергии из возбужденных состояний. *Это и есть* пороговых значений плотности энергии- энергии разрыва связей меньшие по величине. Такой механизм разрушения материала имеет качественные макроскопические особенности. Например, наблюдается высочайшее качество отверстий, пробиваемых короткими лазерными импульсами. Речь идет о форме отверстий, качестве краев, отсутствует зона термического влияния и какие либо признаки жидкой фазы. Само по себе знание факторов лазерного воздействия на материалы конкретизируется лишь в случае, когда известен характер зависимостей пороговых значений плотности энергии (мощности) в пятне облучения на протекание конкретных технологических процессов обработки материалов.

Пока остаются неясными пути, на которых может быть создана единая теория взаимодействия лазерного луча с различными материалами в различных условиях. Выяснение характера зависимостей пороговых значений плотности энергии, обеспечивающих возможность обработки тех или иных материалов лазерным воздействием, осуществляется экспериментально.

1. Захаров Н. С., Урлин В. Д., Шенцев Н. И. Тепловые, гидродинамические и плазменные эффекты при взаимодействии лазерного излучения с веществом. Саров. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2004.
2. Васьковский Ю.М., Гордеева И.А., Ровинский Р.Е., Широкова И.П. Экспериментальное определение параметров лазерного факела и проверка ионизационного равновесия, Квантовая электроника, т.18, №9, 1991.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫЕ МНОГОЗАРЯДНЫЕ ИОНЫ МОНОЭЛЕМЕНТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

И.Ю.Давлетов*, М.Э.Вапаев, Н.З.Хакимов, А.И.Жапаков, С.К.Отобаев
Ургенческий Государственный Университет, 220100. г.Ургенч, Узбекистан.
**idavletov66@gmail.com*

Известно, что при лазерном воздействии с поверхности твердых тел эмитируют электроны, тепловые многозарядные ионы, нейтроны, излучение в широком диапазоне спектра [1-4]. Значительный интерес представляют исследования спектров ядер, особенно легких элементов, для понимания физики формирования их спектров и создания источников ядер. Потребность в эффективных источниках многозарядных ионов и ядер значительно возросла из-за интенсивного развития экспериментальных работ по программе тяжелоионного инерциального синтеза. Взаимодействие излучения лазера с веществом приводит к образованию тепловых, быстрых многозарядных ионов и ядер атомов моноэлементные мишени, которые по природе связаны с тепловыми, ускорительными и рекомбинационными процессами, протекающими в лазерной плазме.

В данной работе приводятся результаты исследования тепловых многозарядных ионов, образованных излучением лазера из моноэлементных (*C, Al, W, Au*) мишеней. При этом основное внимание уделено на формирование спектра (масс-зарядовых, энергетических и др.) многозарядных ионов в зависимости от параметра излучения лазера и элементного состова мишени.

Для исследования тепловых ионов, образованных излучением лазера, использована лазерно-ионизационная масс-спектрометрия, которая описана в [5]. В качестве мишени использованы моноэлементные мишени *C, Al, W, Au*. Мишени изготовлялись в виде таблетки диаметром 10 *мм* и толщиной ~5 *мм*. При этом место локального воздействия лазерного излучения на мишень обновляется от выстрела к выстрелу, что позволяет получить данные относительно разрушения поверхности образца. Надо отметить, что экспериментальные данные получены при одинаковых начальных условиях, т. к. мишенная камера одновременно заправлялась более 10 образцами (моноэлементные мишени). Образование повреждений на поверхности исследуемых мишеней (металлы и диэлектрики) контролировалось также методом оптической микроскопии.

Экспериментально получены в широком интервале плотности мощности $q=10^8$-$10^{11} Вт/см^2$ и потенциала на электростатическом анализаторе (10-1000 *В*), масс-зарядовые спектры ионов *C, Al, W, Au* при идентичных условиях эксперимента. Анализ полученных масс-зарядовых спектров показал, что зарядовый состав, количество частиц, энергетическая структура тепловых ионов *C, Al, W, Au* сильно зависят от *q* лазера, атомной массы мишени.

Установлено, что плотность мощности излучения лазера сильно влияет на формирование спектра тепловых многозарядных ионов лазерной плазмы.

Анализ динамики изменения масс-зарядового спектра ионов *C, Al, W, Au* с ростом плотности мощности излучения (*q)* лазера показал: при $q<10^8 Вт/см^2$ продукты взаимодействия в основном состоят из нейтральных атомов, а концентрация заряженных частиц мала; начиная с $q>10^8 Вт/см^2$ в масс-спектрах наблюдаются однозарядные ионы моноэлементной мишени.

Увеличение плотности мощности излучения лазера до 10^{11} $Вт/см^2$ приводит к последовательному росту кратности заряда ионов во всех исследуемых мишенях *C, Al, W, Au*. Однако, при этом, особенно в интервале $q>10^{10}$ $Вт/см^2$, наблюдается влияние атомной массы мишени для достижения Z_{max} ионов. Надо заметить, что, начиная с определенного значения *q* лазера, образование многозарядных ионов с Z_{max} зависит от теплофизических характеристик и количества испаренного вещества.

На основании полученных масс-зарядовых спектров тепловых ионов моноэлементной лазерной плазмы построены энергетические спектры ионов *C, Al, W, Au.* Анализ энергетических спектров ионов, полученных в зависимости от плотности мощности излучения лазера и атомной массы мишени показал следующее:

- ионы, независимо от кратности заряда и атомной массы мишени, имеют широкий энергетический спектр с одним или двумя максимумами;
- максимумы распределения ионов всех кратностей заряда сдвигаются в сторону большей энергии с ростом кратности заряда ионов;
- ширина энергетического спектра и их интенсивность (количество) растут с увеличением плотности мощности излучения лазера;
- выявлено наличие двух групп ионов: тепловых и рекомбинационных;
- показано уменьшение интенсивности тепловых ионов с ростом кратности заряда ионов в лазерной плазме;

Таким образом, изучено формирование спектра тепловых многозарядных ионов в зависимости от параметра излучения лазера и атомной массы мишени. Установлены определенные закономерности формирования спектра тепловых многозарядных ионов в пределах $q=10^8$-$10^{11} Вт/см^2$ с использованием мишени из *C, Al, W, Au.*

1. Ю.А.Быковский, В.Н.Неволин. Лазерная масс-спектрометрия. М., Энергоатомиздат, 1985.
3. М.Р.Бедилов, И.Ю.Давлетов, и др, Физика плазмы 28(12), 1159(2002).
4. М.Р.Бедилов, И.Ю.Давлетов, и др., Квантовая электроника 31, 459 (2001).
5. И.Ю.Давлетов., А.Р.Матназаров, “Масс-зарядовые спектры ядер атомов Be, B, C, Mg, Al лазерной плазми” Бюллетен науки и практики-научный журнал №2. 2017. С. 23-27.
6. А.Р.Матназаров., И.Ю.Давлетов., А.И.Жапаков “Модернизированная экспери- ментальная установка для регистрации и исследования многозарядных ионов лазерной плазмы” «Бюллетень науки и практики» в №9 2020 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛАЗЕРАХ СО СВЕТОДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Ф.Шерматова, А.Шерниёзов, Ш.Пайзиев, Ш.Бегимкулов, Ф.Камолиддинов, А.Каххоров, А.Алибоев

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан, feruzashermatova1604@gmail.com

Основная цель лазерной физики - создание доступных, эффективных и компактных лазеров. В этом отношении недавние значительные технические достижения в области светодиодного освещения возобновили интерес к лазерам со светодиодной накачкой. Преимуществами светодиодов как источников света при накачке лазеров являются высокая эффективность преобразования электрической мощности в оптическую, низкая стоимость, компактный дизайн и длительный срок службы. Однако, основываясь на недавно опубликованных экспериментальных исследованиях [1], можно сказать, разработка лазеров со светодиодной накачкой находится на ранней стадии с точки зрения эффективности и стабильности. В связи с этим возникла необходимость создания точных моделей лазеров со светодиодной накачкой. Насколько нам известно, такие «end-to-end» (от начала до конца) модели не встречаются в литературе. Поэтому мы изучили возможность разработки комплексных и точных моделей лазеров со светодиодной накачкой.

При моделировании использовалась трассировка фотонов методом Монте-Карло из-за её гибкости для учета специфики лазеров со светодиодной накачкой, таких как случайность эмиссии фотонов (направление и длина волны, инициируемые из спектра светодиода) и структурная сложность камеры накачки.

В качестве референса для разработки модели было выбрано одно из недавних экспериментальных исследований [2]. Общий вид симуляционной модели лазерной системы приведен на рис.1.

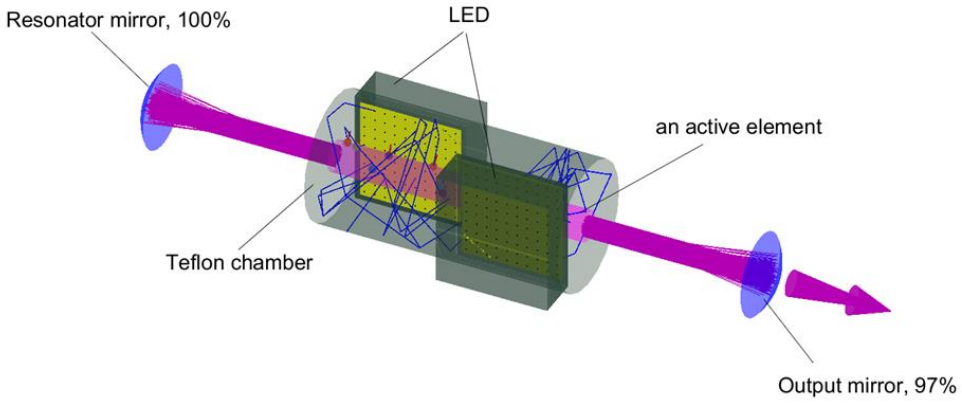


Рис. 1. Общий вид лазерной системы

Конструкция состоит из цилиндрической камеры накачки диаметром 25 мм с квадратным отверстием 22×22 мм^2 с каждой стороны для размещения двух LED матриц, состоящих из 10×10 элементов на керамике с алюминиевым покрытием. Синий LED и Ce:Nd:YAG в качестве активной среды были выбраны из-за широкого спектрального перекрытия их излучения и поглощения, соответственно. Особенно, пики синего светодиода и Ce:Nd:YAG совпадают в окрестности 460 нм. При этом эффективность каждого светодиода считалась постоянной и равной 15%. Кроме этого, были введены параметры диффузно-отражающей камеры накачки, изготовленной из тефлона из-за его превосходных свойств широкополосного отражения. Лазерный стержень, размерами 6 мм в диаметре и 5 см в длину, удерживается в центре цилиндрической камеры двумя скользящими торцевыми крышками, также изготовленными из тефлона.

Проведенные симуляционные исследования показали, что эффективность поглощения Ce:Nd:YAG лазера со светодиодной накачкой соствляет 14%. Эффективность преобразования мощности в мощность лазерного излучения, вычисленная для предложенной конструкции, достигает 2 % (рис. 2)

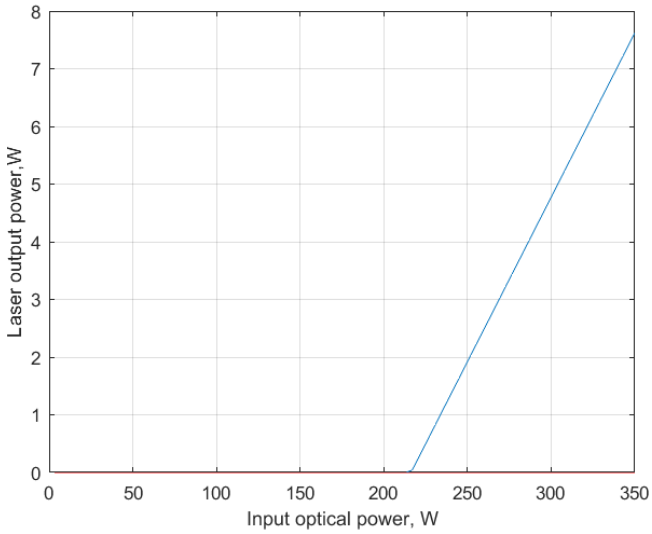


Рис.2. Зависимость выходной мощности от входной оптической мощности светодиода

Разработанная модель дает возможность оценки широкого класса лазерных систем со светодиодной накачкой. Модель достаточно мощная, чтобы предоставить подробную информацию о работе каждой детали системы. Полная валидация разработанной модели с экспериментальными результатами и ее оптимизация являются темой наших будущих исследований.

1. Pichon, Pierre, Adrien Barbet, Jean-Philippe Blanchot, Frederic Druon, François Balembois, and Patrick Georges. "Light-emitting diodes: a new paradigm for Ti: sapphire pumping." Optica 5, no. 10 (2018): 1236-1239.
2. Villars, Brenden, E. Steven Hill, and Charles G. Durfee. "Design and development of a high-power LED-pumped Ce: Nd: YAG laser." Optics letters 40, no. 13 (2015): 3049-3052.

STUDY OF PLASMA STATES OF METALS UNDER THE INFLUENCE OF LASER LIGHT USING LIBS SPECTROSCOPY

M.E.Vapayev[1*], S.B.Reyimboyev[2], B.R.Sobirov[2], S.R.Kamalov[2], I.Yu.Davletov[1], G.S.Boltaev[2]

[1]Urgench State University. Urgench, Uzbekistan

*[2]Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies under the name of Aripov U.A., Tashkent, Uzbekistan *murod.wme@mail.ru*

Growing interest in laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) in research conducted by the world's leading scientists based on the simplicity and applicability of this optical technique for wide range of the materials. This method allows to provide express analysis on the qualitatively and quantitatively of the samples by their laser-induced plasma plumes excited on the surface of the materials [1-2].

In this work we perform elemental analysis by using LIBS method and estimation of composition of the laser induced plasma plumes in the air. The bulk elements like silicon (Si) and tin (Sn) were used as a sample for creation of the laser induced plasma plumes with a laser (Nd: YAG with a wavelength of 1064 nm and a pulse duration of 10 ns) and the emission parameters of the generated plasma were analyzed by using a fiber spectrometer (HR4000, Ocean Optics). The optical spectrometer allows to analysis of plasma spectra in the wavelength range of 200 nm to 1100 nm. The final spectra of the plasma plumes showed the presence of ion transitions in which the elements Sn and Si are formed from (I) single and (II) double charged ions (Figure 1). The wavelengths and widths of these transition lines for silicon and tin ions corresponding to the plasma spectra were determined, which made it possible to estimate the concentration of free electrons in the plasma plumes by using the Stark expansion method. The Stark effect is the displacement and division of the spectral lines of atoms and molecules due to the presence of this external field. For non-hydrogen ions, Stark expansion is dominated by electrons and thus by ion interactions, and the ion interaction coefficient is negligible [4]. As a result, Stark's expansion is as follows:

$$\Delta\lambda_{\frac{1}{2}} = 2W\left(\frac{n_e}{10^{16}}\right)\overset{0}{\text{A}}. \qquad (1)$$

$\Delta\lambda_{\frac{1}{2}}$ = half of the FWHM spectrum width, n_e- electron density. Using the Stark expansion method, the electron densities were determined on a scale corresponding to the wavelength values of the spectrum of Si and Sn elements formed from the charged ion transitions (I) and (II) (Table 1.2). In this case, the temperature-dependent variable values of the electron interaction parameter W, corresponding to different wavelengths, were used [5]. The method of determining the temperature of the plasma formed by the elements Si and Sn by the power density of the laser was used [6]. The expression for determining the temperature is as follows:

$$T = q^{4/9}A_z^{2/9}\left(\frac{Z}{Z+1}\right)^{2/3} \qquad (2)$$

Here q is the power density of the focused laser radiation, A is the atomic mass, and Z is the number of multi-charged ions in the plasma.

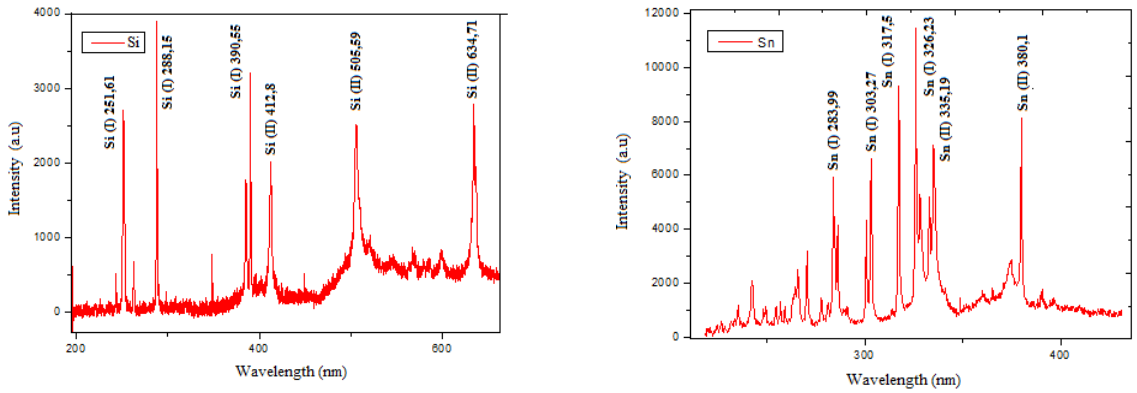


Figure 1. Plasma spectrum of the elements (Si) and (Sn)

The power density of the Nd-YAG laser selected in the experiment is 10^{11} W / cm^2. The atomic mass of Si is 28.08 g / mol, the atomic mass of Sn is 118.71 g / mol, and Z is equal to (I) and (II).The given values were set to (2) and the plasma temperature was determined (Table 1.2).

Table 1

Element	***Si (I)***	***Si (I)***	***Si (II)***	***Si (II)***	***Si (II)***
λ (nm)	251,61	288,15	412,8	505,59	634,71
FWHM (nm)	2,33	0,85	1,9	3,51	1,31
W (Å)	0,70	0,54	1,29	1,8	1,2
n (10^{17} sm^{-3})	1,66	0,78	0,73	0,97	0,54
T (K)	22000		26700		

Table 2

Element	***Sn (I)***	***Sn (I)***	***Sn (I)***	***Sn (I)***	***Sn (II)***	***Sn (II)***
λ (nm)	283,99	303,27	317,5	326,23	335,19	645,35
FWHM (nm)	0,85	0,66	1,2	0,72	1,2	2,2
W (Å)	0,264	0,26	0,05	0,04	0,25	0,28
n (10^{17} sm^{-3})	1,6	1,26	12	9	2,4	3,9
T (K)	30300				36400	

Due to the simplicity of the method, it is convenient for analyses that cannot be carried out using conventional methods of atomic emission spectroscopy (AES). The obtained results allow to determine the parameters of laser plasmas created on the surface of bulk metals. Using the LIBS method, the densities and temperatures of the free electrons in the laser plasma formed on the surface of silicon and tin were determined.

1. F. J. Fortes and J. J. Laserna, “The development ,” Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy 65, 975-990 (2010).
2. W.A. Farooq, F.N. Al-Mutairi, “Analysis of rocks around capital of Kingdom of Saudi Arabia using laser ...” Optics and Spectroscopy 115, 241-248 (2013).
3. M.S. Rabasovic, B.P. Marinkovic “Time-resolved analysis of pure indium sample and LCD ”Opt Quant Electron(2018) https://doi.org/10.1007/s11082-018-1506-0
4. H. R. Griem, Plasma Spectroscopy (McGraw-Hill, New York, 1964).
5. Experemental stark widths and shifts for spectral lines. J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol.31, No. 3, 2002.
6. А. П. Шевелько. Новый метод сравнения для измерения температуры электроновпо… Квантовая электроника 41 №8 (2011)

НОВЫЕ СЕНСИБИЛИЗИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ Nd:YAG ЛАЗЕРОВ С СОЛНЕЧНОЙ НАКАЧКОЙ

А. Шерниёзов, Ш. Пайзиев, Ш. Бегимкулов, Ф. Шерматова, Ф. Камолиддинов, А. Каххоров, А. Алибоев.

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, 100125, Дурмон йули -33, Ташкент, Узбекистан. sherzodbegimkulov93@gmail.com

Разработка лазеров на основе солнечной энергии остается актуальной и востребованной. Обзор литературы по солнечным лазерам показывает, что для создания эффективных солнечных лазеров исследователи традиционно используют два подхода: повышение эффективности накачки за счет выбора активной среды с широким перекрытием её спектра поглощения с солнечным спектром; оптимизация конструкции лазера включая первичных и вторичных концентраторов. Однако, пространство поиска в рамках этих двух методов ограничено. В данном направлении, недавно была предложена новая парадигма [1], открывающая широкие возможности для создания высокоэффективных солнечных лазеров с помощью внутренних и внешних сенсибилизаторов [2]. В связи с этим в настоящее время актуальным является поиск новых материалов и изучение возможности использования их в качестве сенсибилизаторов (преобразователей длины волны) в солнечных лазерах. Поэтому в данной работе исследованы сенсибилизирующие способности Cr:LiSaF, CdSe / CdZnS и GaAsGaP и их влияние на выходные характеристики солнечных лазеров на основе Nd: YAG методом Монте-Карло и трассировки фотонов [1]. На рис. 1 приведены спектры поглощения и люминесценции Cr:LiSaF, CdSe/CdZnS, GaAsGaP на фоне спектра солнечного излучения.

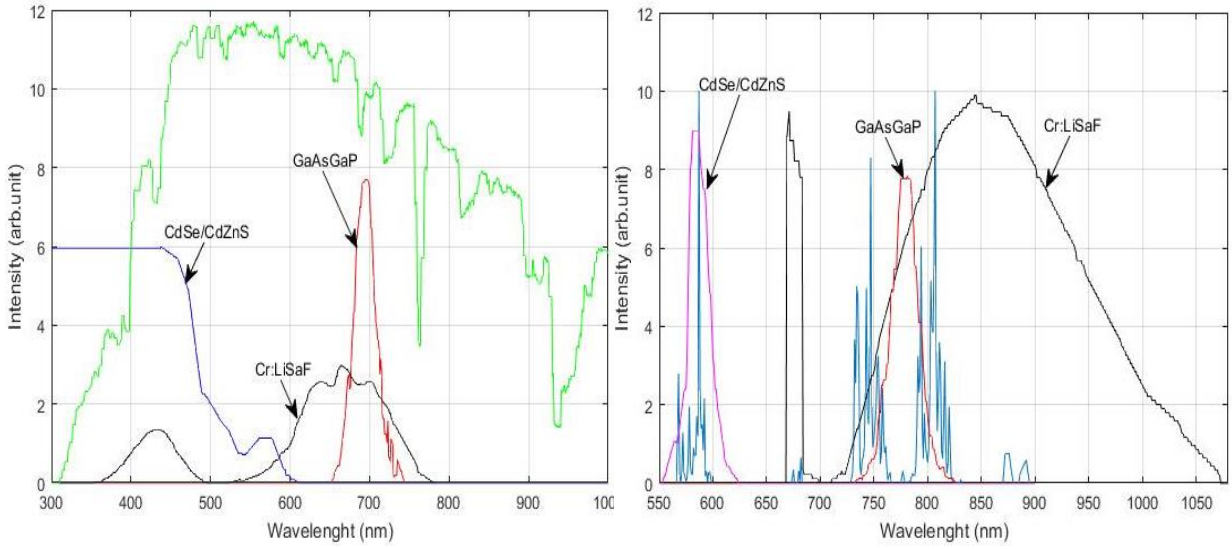


Рис.1. Солнечный спектр (слева, зеленый), спектры поглощения (слева) Cr:LiSaF, CdSe/CdZnS, GaAsGaP и их спектр излучения (справа) со спектром поглощения Nd:YAG (справа, синий)

При моделировании был введен одинаковый размер для всех сенсибилизаторов. С помощью симуляции была вычислена энергия фотонов, поглощенных активной средой. Общий вид схемы лазера, использованной в симуляционной модели приведен на рис.2. В модели солнечный свет фокусируется на входное окно камеры, через которого лучи, многократно отражаясь, направляются в активную среду. Длина волны фотона, проходящего через сенсибилизатор, расположенный за активной средой, изменяется, увеличивая вероятность того, что новая длина волны находится в абсорбируемом диапазоне активного элемента. Для рассматриваемой установки эффективность накачки Nd: YAG без сенсибилизаторов составила 15.0%. После применения сенсибилизаторов эти значения увеличились до 16.9% для Cr: LiSaF, 19.0% для CdSe / CdZnS и 17.2% для GaAsGaP. На основе полученных результатов была получена зависимость выходной мощности лазера от падающей мощности солнечного света в фокус концентратора, приведенная на рис 3.

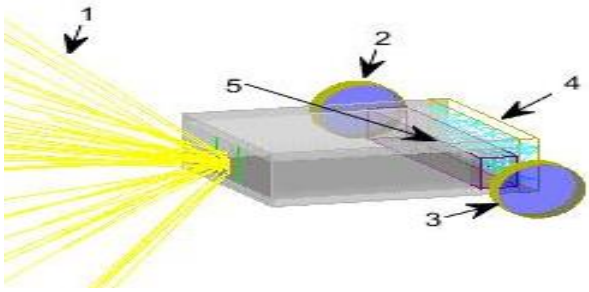


Рис. 2. Общий вид лазерной системы: 1-солнечные лучи, 2-зеркало (100%), 3-выходное зеркало, 4-сенсибилизатор, 5-оптическая усиливающая среда

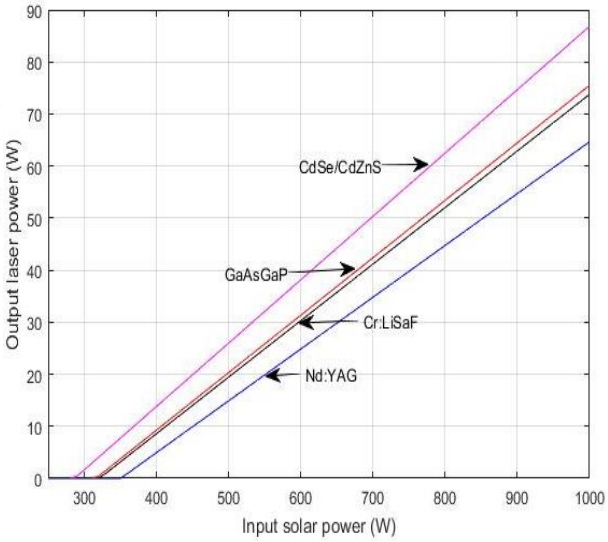


Рис 3. Выходная мощность лазера

Таким образом, проведенное исследование показало, что изученные сенсибилизаторы действительно представляют собой новые потенциальные кандидаты для повышения эффективности накачки и, как следствие, выходной мощности солнечных лазеров. Например, материал CdSe / CdZnS повышает эффективность накачки солнечного Nd: YAG лазера до 19.0%, что позволяет получить мощность лазера 87 Вт и является наиболее эффективным среди сенсибилизаторов, перечисленных выше.

2. Payziyev, Sh, and Kh Makhmudov. "Solar pumped Nd: YAG laser efficiency enhancement using Cr:LiCAF frequency down-shifter." Optics Communications 380 (2016): 57-60.
3. Bakhramov, S. A., A. A. Sherniyozov, Sh D. Payziyev, Kh F. Zikrillayev, G. A. Khalikov, Kh M. Makhmudov, M. Z. Ismailov, D. E. Payzieva, and T. G. Khottchenkova. "Feasibility of Luminophores in Solar-Pumped Laser Heads." Journal of Applied Spectroscopy 88, no. 2 (2021): 370-372.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ТВЕРДОГО ТЕЛА: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АДСОРБЦИИ, ЭЛЕКТРОННОЙ И ИОННОЙ ЭМИССИИ

SECTION 1. INTERACTION OF ATOMS AND MOLECULES WITH SOLID SURFACE: FUNDAMENTAL PROBLEMS OF ADSORPTION, ELECTRON AND ION EMISSION

М.В.Кнатько, М.Н.Лапушкин *(Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе, Россия)* Новый эмиттер для поверхностной ионизации органических молекул: интерметаллид золото-натрий …… 6

Л.Х.Галиахметова[1], А.И.Клявлина[2], К.А.Крылова[1,2] *([1]Институт проблем сверхпластичности металлов, г. Уфа, Россия, [2]Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия).* Взаимодействие дислокаций в графене при повышенной температуре …… 8

Л.Р.Сафина[1], К.А.Крылова[1,2], Р.Т.Мурзаев[2], Ю.А.Баимова[2] (*[1]Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, [2]Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа* Влияние температуры обработки на процесс формирования композита графен-никель …… 10

Н.Г.Апкадирова[1], К.А.Крылова [1,2] *([1]ИПСМ РАН, г. Уфа, 2УГНТУ, г. Уфа)* Атомистическое моделирование наводороженного скомканного графена с разным диаметром структурных элементов …….. 11

M.Yusupov[1,2], M.C.Oliveira[2,3], U.Khalilov[1,2], R.M.Cordeiro[3], A.Bogaerts[2], S.Mirzaev[1] (*[1]Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, [2]University of Antwerp, Antwerp-Wilrijk, Belgium, [3]Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, Brazil).* Effect of lipid nitro-oxidation induced by cold atmospheric plasma on the properties of phospholipid bilayer: Computational study …….. 14

П.В.Полякова[1], Ю.А.Пухачева[2] *([1]Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа., [2]Башкирский государственный университет, г. Уфа.)* Движение атомов на границе металлов Mg, Al: атомистическое моделирование …….. 15

У.О.Кутлиев, М.К.Каримов, С.Б.Бобожонова, К.У.Отабаева, М.У.Отабаев *(Ургенческий государственный университет, Ургенч, Узбекистан.)* Исследования рассеяния ионов Ne^+ и Ar^+ при малоугловом рассеянии поверхностью InGaP(001)<110> ……. 17

К.А.Турсунметов *(Национальной университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан).* Эффект киркендалла и закон «3/4» ……. 19

Н.М.Мустафоева, А.К.Ташатов, Л.Х.Азизова *(Каршинский государственный университет, г. Карши, Узбекистан)* Зависимость состава и параметров энергетических зон от глубины ионно-легированного слоя для Si имплантированного ионами Ba^+ ……... 21

Д.В.Алябьев[1], И.Д.Ядгаров[1], Ю.А.Баимова[2], Ф.Ф.Умаров[3] *([1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [2]Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, [3]Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан).* Моделирование процессов центрального рассеяния атомов азота на фуллеренах C_{60} …… 23

Ш.Т.Хожиев[1], И.О.Косимов[1], М.А.Зияев[1], Б.Б.Гаибназаров[2] *(Институт Биоорганической Химии им.акад. О.С. Содыкова АН РУз, [2]Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан, Узбекистан)*. Al_2O_3, оксид титана и их особенности проявляемые методом порошковой дифрактометрии ……..… 24

Ш.Т.Хожиев[1,2], Х.Б.Ашуров[1], С.Ф.Коваленко[1], С.Е.Максимов[1], В.М.Ротштейн[1] *([1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [2]Институт биоорганической химии имени А.С.Садыкова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Фрагментация и процессы образования распыленных кластеров $V_nO_m^+$ ……. 26

У.Б.Улжаев, Д.В.Алябьев, И.Д.Ядгаров *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Моделирование взаимодействия углеродных нанотрубок с атомами водорода ……. 28

Ш.Дж.Ахунов, Д.Т.Усманов, Ш.М.Ахмедов *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан)*. Исследование угловых зависимостей выхода возбужденных молекул при бомбардировке электронами кэв-ных энергий в ЭСД …….. 29

U.B.Sharopov *(Physical-Technical Institute, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan).* Bombardment of ions of with different mass of lithium fluoride crystals ……. 31

К.А.Турсунметов, Ф.Ю.Тургунбоев *(Национальной университет Узбекистана).* Условия получения высокоэффективной системы источника электронов для многолучевых электронных систем …… 32

Ш.М.Ахмедов, Ш.Дж.Ахунов, Д.Т.Усманов *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Исследование закономерности поверхностной ионизации спиносада …….. 34

У.О.Кутлиев, М.К.Каримов, С.Б.Бобожонова, К.У.Отабаева, М.У.Отабаев *(Ургенческий государственный университет, Ургенч, Узбекистан).* Угловые распределения рассеянных ионов Ne^+ и Ar^+ при малоугловом бомбардировке поверхностьи InGaP(001)<110> ……. 35

Б.Ш.Касимов, Ш.Дж.Ахунов, Ш.М.Ахмедов, Д.Т.Усманов *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Поверхностно-ионизационная масс-спектрометрия наркотических стимуляторов ….. 37

Н.А.Нурматов Г.Т.Рахмонов, Р.А.Алимов *(Национальный университет Узбекистана имени М. Улугбека, Ташкент, Узбекистан)* Исследование особенности фотоэлектронных спектров ниобия-молибдена-гафния ……. 38
Г.Т.Рахманов, Н.А.Нурматов *(Национальный университет Узбекистана имени М. Улугбека, Ташкент, Узбекистан).* Определение кинетических характеристик гетерогенной реакции диссоциации молекул нестационарными методами поверхностной ионизации …….. 40
Ё.С.Эргашов*, С.Б.Донаев, Б.Е.Умирзаков *(Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан))* Влияние бомбардировки ионами Ar^+ на спектр валентных электронов монокристалла Si(111) …….. 41
U.B.Sharopov *(Physical-Technical Institute, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan)* Electron irradiation during thin-film LiF/Si(111) deposition ……. 43
U.B.Sharopov *(Physical-Technical Institute, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan)* Kinetics of oxygen vacancy on the surface of ZnO crystals ……. 44
Ж.Ш.Содикжанов[1], Б.Е.Умирзаков[2] *([1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан, Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан)*. Морфология, состав и свойства пленок CdS/Mo(Ш) ……. 45
Н.И.Иброхимов[1], А.М.Расулов[2], И.Д.Ядгаров[3] (*[1]Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан, [2]Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми, Фергана, Узбекистан, [3]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Моделирование малоатомных металлических кластеров серебра …….. 47
Д.А.Ташмухамедова, Б.Е.Умирзаков, А.Н.Уроков, Ф.Я.Худойкулов, Р.Жавлиев *(Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан).* Влияние имплантация ионов ва$^+$ на эмиссионные свойства поверхности W(111) 48
Б.Е.Умирзаков, Д.А.Ташмухамедова, М.А.Мирджалилова, М.Б.Юсупжанова, Ф.Ф.Рискинбоев *(Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан)*. Изучение состава наноструктур $NiSi_2$ созданных в приповерхностной области Si методом ионной имплантации ……. 49
И.М.Сайдумаров[1], Д.Т.Усманов[2] *([1]Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент, [2]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Определение кинетических характеристик термодесорбции молекул с поверхности окисленного вольфрама ……. 50

А.Ш.Раджабов, Д.Т.Усманов, С.С.Исхакова, В.М.Ротштейн, Ш.М.Ахмедов *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Исслдедование закономерности возникновения верхнего предела линейно динамического диапазона поверхностно-ионизационных детекторов … 51

А.Ш.Раджабов, Д.Т.Усманов, С.С.Исхакова, В.М.Ротштейн, Ш.М.Ахмедов, Ш.Ш.Раджабова *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Исследование взаимосвязи между быстродействием и линейно динамическим диапазоном поверхностно-ионизационных детекторов ……. 53

Х.И.Жабборов[1], Ж.Х.Джуманов[2], И.Д.Ядгаров[3] (*[1]Научно-исследовательский институт цифровых технологий и искусственного интеллекта при Министерство по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан, [2]Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, Ташкент, Узбекистан, [3]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Компьютерное моделирование осаждения атомов углерода на графен …….. 55

СЕКЦИЯ 2. ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА (МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ)

SECTION 2. PHYSICAL ELECTRONICS (TECHNIQUES AND INSTRUMENTATIONS)

М.В.Кремков *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Методы физической электроники: исследование поверхности, как границы раздела с 2d-геометрией двух объемных фаз твердое тело – вакуум с 3d-геометрией, и методология моделирования процессов взаимодействия атомных частиц на поверхности материалов …… 58

М.Т.Нормурадов[1], Д.А.Нормуродов[1], И.Р.Бекпулатов[2], Ж.Б.Хужаниязов[2] *([1]Каршинский государственный университет, Узбекистан. [2]Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан).* Влияние технологических режимов ионной имплантации и последующего отжига на профили распределения имплантированных атомов в Si(111) И Si(100) …….. 60

А.С.Рысбаев[1] З.А.Турсунметова[2], И.Р.Бекпулатов[1], И.Х.Турапов[1] *([2]Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан, Узбекистан, [2]Институт Физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана им. Мирзо Улугбека).* Способ низкотемпературной вакуумно-термической очистки поверхности монокристаллов Si И GaAs …….. 62

У.Т.Ашрапов[1], И.И.Садиков[1], Ш.Махкамов[1], Б.Б.Мирзаев[1], А.Г.Естифеева[2] *([1]Институт ядерной физики Академии наук, Республика Узбекистан, [2]АО «Гидропроект», Ташкент, Республика Узбекистан).* Разработка акустико-эмиссионной системы для мониторинга состояния бетонных конструкций гидротехнических сооружений …… 64

К.С.Аюпов, С.Валиев, Х.Ф.Зикриллаев, Ш.Б.Шерғозиев *(Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан).* Применения сильнокомпенсированного кремния для контроля температуры …… 66

С.С.Исхакова, У.Хасанов *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Масс- и термодесорбционная спектрометрия высокочувствительное обнаружение ветеренарных препаратов в различных объектах ……. 68

U.B.Sharopov *(Physical-Technical Institute, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan)* Preparing the technique of the total current spectroscopy for the growth of lif on Si(111) …… 70

СЕКЦИЯ 3. ИОННО-ЛУЧЕВЫЕ И ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И МОДИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ

SECTION 3. ION-BEAM AND PLASMA TECHNOLOGIES FOR PRODUCTION AND MODIFICATION OF MATERIALS

Д.Старокадомский[1,2], П.Кузема[1], М.Решетник[3], С.Шульга[1] *([1]Институт Химии Поверхности им.акад.А.А.Чуйко НАН Украины, г.Киев, [2]Институт Геохимии и Минералогии НАН, г.Киев, [3]Нац. Научно-Природоведческий Музей НАН, г. Киев)* Поверхностно-модифицированный гидрид-аэросил как эффективная усиливающая добавка для эпоксидных полимер-композитов ……. 72

С.А.Губин[1], М.Ш.Курбанов[2], А.В.Кудинов[1], И.В.Маклашова[1], У.М.Нуралиев[2] *(Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия, [2]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан, Ташкент, Узбекистан).* Термодинамический расчет карботермического восстановления кремния с использованием метана 74

M.Sh.Kurbanov[1], S.A.Tulaganov[1], M.Ernazarov[1], L.S.Andriyko[2], A.I.Marinin[3], A.Yu.Shevchenko[3] (*[1]Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of Uzbekistan Academy of Sciences, [2]Chuiko Institute of Surface Chemistry, Kyiv, Ukraine, [3]National University of Food Technology, Kyiv, Ukraine).* Amorphous silica properties, synthesized from slags of the copper-smelting production of almalyk mining and metallurgical combine 75

С.Г.Кудратов[1], М.Ш.Курбанов[2], С.А.Тулаганов[2] *([1]Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, [2]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Термодинамические расчеты фторирования техногенных отходов Алмалыкского ГМК для опытно-промышленного испытания технологии …… 77

Ш.Б.Утамурадова, З.Хайдаров *(НИИ Физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз, Узбекистан).* Физические свойства структуры «полупроводник-плазма газового разряда …….. 78

С.Б.Донаев[1], Б.Е.Умирзаков[1], Г.М.Ширинов[1], Б.Д.Донаев[2] *([1]Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан), [2]Каршинский инженерно-экономический институт)* Эмиссионные свойства Mo, Pd и Pd-Ba при имплантации ионов бария и кислорода ……. 80

А.А.Абдувайитов, Х.Х.Болтаев, Г.А.Розиков *(Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан).* Электронная и кристаллическая структура силицидов металлов, полученных методом ионной имплантации ……. 82

М.Эрназаров, **М.Ш.Курбанов, У.М.Нуралиев, С.А.Тулаганов** (*Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Отделение меди из золошлаков Ангренской ТЭС …… 84

А.А.Зарипов[1], У.Б.Халилов[1,2], Х.Б.Ашуров[2] *([1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [2]PLASMANT Research Group, NANOLab Center of Excellence, University of Antwerp, Universiteitsplein Antwerp, Belgium).* Механизм удаления диэлектриков в электролитах ……..... 86

М.Ш.Курбанов, Б.Л.Оксенгендлер, С.Е.Максимов, У.М.Нуралиев *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Брикетирование и современные аспекты физико-химии конденсированного состояния …. 87

А.А.Зарипов[1], У.Б.Халилов[1,2], Х.Б.Ашуров[2]. *([1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [2]University of Antwerp, Universiteitsplein Antwerp, Belgium).* Влияния формы катода на скорость удаления при электроэрозионной обработке диэлектриков …….. 89

З.А.Исаханов[1], Б.Е.Умирзаков[2], З.Э.Мухтаров[1], Р.М.Ёркулов[1], Ж.Ш.Содикжанов[1] (*[1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [2]Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан).* Определение критического угла каналирования ионов активных металлов 90

М.Ш.Курбанов, М.Эрназаров, С.А.Тулаганов, У.М.Нуралиев, Ж.А.Панжиев *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Разработка и создание опытно-промышленной установки для извлечения цветных металлов и других ценных компонентов из шлаков Алмалыкского ГМК 92
С.Б.Донаев[1], Ё.С.Эргашов[1], Г.М.Ширинов[1], Б.Д.Донаев[2] *([1]Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан, [2]Каршинский инженерно-экономический институт).* Параметры энергетических зон ионно-легированного слоя для Si имлпантированного ионами Ba^+ ……. 93
В.Н.Арустамов, Х.Б.Ашуров, И.Х.Худайкулов, Б.Р.Кахрамонов. *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Комплексный процесс очистки поверхности изделия ионами плазмы тлеющего разряда и плазменного вакуумно-дугового осаждения покрытий …….. 95

СЕКЦИЯ 4. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

SECTION 4. NEW TECHNOLOGIES AND MATERIALS FOR SOLAR ENERGY AND ELECTRONICS

В.Ф.Гременок[1], С.Х.Сулейманов[2], Н.А.Кулагина[2] *([1]ГО "Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению", Республика Беларусь, [2]Институт материаловедения НПО «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан).* Микроструктура тонких пленок Cu_2SnS_3, полученных сульфуризацией металлических слоев …… 98
L.O.Olimov, I.I.Anarboyev *(Andijan Machine-Building Institute, Andijan, Uzbekistan).* Microstructure of silicon obtained by re-melting in a solar furnace …… 100
М.Б.Марасулов[1], Н.Н.Тураева[2], Б.Л.Оксенгендлер[1,3] *([1]Институт химии и физики полимеров АН РУз, Ташкент, [2]Университет Вебстера, США, [3]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Роль размерности нанообьектов в процессах множественной экситонной генерации в солнечных элементах 3-го поколения …….. 102
Т.М.Разыков, К.М.Кучкаров, Б.А.Эргашев, Р.Р.Хуррамов, М.Махмудов, Д.З.Исаков, С.Р.Жумабоев *(Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз, Узбекистан).* Электропроводимости пленок Sb_XSe_Y полученных методом хмпо от отдельности источника элементов SB И SE для солнечных элементов 104
Р.Р.Кабулов[1,2], С.Ю.Герасименко[1], Ф.А.Акбаров[2,3] *([1]Физико-технический институт АН РУз., Ташкент, [2]Международный институт солнечной энергии, Ташкент, [3]Ташкентский государственный технический университет, Ташкент).* Время переходные процессы в тонкопленочном солнечном элементе на основе CIGS в длинноволновой части спектра фундаментального поглощения 106

В.М.Ротштейн, Р.Х.Ашуров *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Аналитический контроль качества компонентов, присутствующих в технологии синтеза моносилана ……. 108
L.O.Olimov, I.I.Anarboyev *(Andijan Machine-Building Institute, Andijan, Uzbekistan).* Electrical properties of silicon obtained by re-melting in a solar furnace …….. 110
Ш.К.Кучканов[1], Х.Б.Ашуров[1], Б.М.Абдурахманов[1], М.М.Адилов[1], С.Е.Максимов[1], С.Ж.Ниматов[1,2] (*[1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [2]Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан, Ташкент, Узбекистан).* Дефекты структуры и тепловольтаический эффект в плёнках Si-Ge:Ti/Si, полученных газофазной эпитаксией ….. 112
Т.М.Разыков, К.М.Кучкаров, Б.А.Эргашев, А.Олимов, М.Махмудов, Д.З.Исаков, С.Р.Жумабоев *(Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Влияние температуры подложки на электропроводимости пленок Sb_2Se_3 полученных методом хмпо для солнечных элементов ……. 114
Ш.И.Аскаров, Б.З.Шарипов, Ш.К.Салиева, Д.М.Шукурова *(Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан).* Влияние наномолекул селена на эффективность преобразования солнечной энергии в кремниевых солнечных элементах ……. 116
Б.Е.Умирзаков[1], З.А.Турсунметова[2], И.Р.Бекпулатов[1], Р.Ф.Файзуллаев[1] *([1]Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан, [2]Институт Физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана).* Влияние различных воздействий на состав и структуру монокристаллического Si …… 117
Т.М.Разыков, К.М.Кучкаров*, Б.А.Эргашев, Р.Т.Йулдошов, М.Махмудов *(Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Фотоэлектрические характеристики тонкопленочных солнечных элементов на основе нового материала $Zn_xSn_{1-x}Se$ ……. 119
А.С.Саидов[1], Ш.Н.Усмонов[1], О.З.Тургунов[1], А.Б.Каршиев[1], У.П.Асатова[2] *([1]Физико-технический институт НПО "Физика-Солнце" АН РУз, Ташкент Узбекистан, [2]Ургенческий государственный университет, Ургенч, Узбекистан).* Фототермовольтаический эффект в бинарном соединение GaP …… 121
У.Ф.Бердиев, Ш.Ч.Искандаров, Т.К.Турдалиев, Х.Б.Ашуров *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан)* Зависимость свойств синтезированных на основе поливинилового спирта протонообменных мембран от количество ТЭОС ……. 122

А.С.Саидов, Ш.Н.Усмонов, Т.Т. Ишниязов, А.Б.Каршиев *(Физико-технический институт НПО "Физика-Солнце" АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Фототермовольтаический эффект в твердом растворе $(Si_2)_{1-x}(GaN)_x$ …… 124
Ш.Ч.Искандаров, Т.К.Турдалиев, У.Ф.Бердиев, Х.Б.Ашуров *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан)* Ванадиевые проточные аккумуляторы как система хранения электроэнергии …… 126

СЕКЦИЯ 5. ФОТОНИКА

SECTION 5. PHOTONICS

А.И.Никифоров, В.А.Тимофеев, В.И.Машано*, И.Д.Лошкарев, И.В.Скворцов, Д.В.Гуляев, Т.А.Гаврилова. *(Институт физики полупроводников СО РАН, г. Новосибирск, Россия).* Материал на основе многослойных периодических структур с псевдоморфными слоями GeSiSn и оксидов олова …… 129
M.I.Terebinskaya, O.V.Filonenko, O.I.Tkachuk, V.V.Lobanov *(Chuiko Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine).* Polaron conductivity of oxidized oligomers of 3,4-ethylenedioxythiophene …… 131
A.M.Kokhkharov, S.A.Bakhramov, U.K.Makhmanov, Sh.A.Esanov, B.A.Aslonov, B.A.Sindarov, Z.Bekmurodov. Study of stabilization of self-assembly processes in fullerene C_{60} solution …….. 133
M.Imamov, E.Zakhidov, V.Quvondikov, I.Tajibayev, F.Ruziyev *(Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan).* Increasing the efficiency of organic solar cells based on P3HT:PCBM and P3HT:ITIC by using pfn …….. 134
И.А.Рахматуллаев[1], М.Х.Давронов[2], О.М.Турсункулов[1], О.Ф.Тукфатуллин[3], М.Р.Рахматуллаев[4], А.К.Курбонов[2] *([1]Центр передовых технологий при Министерстве инновационного развития Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан, [2]Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан, [3]Физико-технический институт АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [4]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Исследование морфологии и люминесцентных свойств микропорошка диоксида титана …… 136
О.М.Турсункулов[1], И.А.Рахматуллаев[1], О.Ф.Тукфатуллин[2], М.Р.Рахматуллаев[3], А.К.Курбонов[4], М.Х.Давронов[4] *([1]Центр передовых технологий при Министерстве инновационного развития Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан, [2]Физико-технический институт АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [3]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [4]Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан).* Морфологические и структурные особенности микропорошков сапфира …….. 138

A.M.Kokhkharov, U.K.Makhmanov, Sh.A.Esanov, B.A.Aslonov, B.A.Sindarov, Z.Bekmurodov. Study of optical properties of fullerene solution in xylene ……... 140
З.Ш.Шаймарданов[1,2], Ш.З.Уролов[1], Р.Р.Жалолов[1] *([1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [2]Национальный университет Узбекистана имени М. Улугбека, Ташкент, Узбекистан).* Исследование люминесцентных свойств нанокомпозита исскуственный опал – органический полимер с полупроводниковыми свойствами **..**…….. 142
Э.А.Захидов[1], В.О.Кувондиков[1], Ш.К.Нематов[2], Ф.М.Рузиев[1], И.И.Бойназаров[1], А.А.Матчанова[1] *([1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [2]Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан).* Исследование действия засухи на функционирование фотосинтетического аппарата растений с помощью флуоресценции хлорофилла ……. 144
R.R.Jalolov[1], B.N.Rustamova[1], Z.Sh.Shaymardanov[1], Sh.Z.Urolov *(Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan).* Use of zinc oxide nanorods in the treatment of wastewater from dyes ……. 145
А.А.Саидкулова *(Национальный университет Узбекистана имени М. Улугбека, Ташкент, Узбекистан).* Фильтрование оптических каналов dwdm с помощью двойной волоконной петле …… 148
Ф.Р.Ахмеджанов, У.Ш.Абдирахмонов, В.Н.Авдиевич *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Анизотропия фотоупругого эффекта в кристаллах ниобата лития ……. 150
Э.Н.Цой, Л.А.Суюнов *(Физико-технический институт АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Стационарные оптические импульсы в средах с высшими дисперсией и нелинейностью …… 152
Ф.Р.Ахмеджанов, Ж.О.Курбанов *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Анизотропия акустического затухания в кубических кристаллах фторида лития …… 153
B.Kh.Turmanov (*Physical-Technical Institute of the Academy of Sciences of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan).* Phonon quasi-particles in dipolar supersolid system …….. 155

СЕКЦИЯ 6. ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ

SECTION 6. PHYSICS AND TECHNOLOGY OF NANOMATERIALS

Ю.Ю.Эрвье *(Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия).* Формирование пьедесталов и нитевидных нанокристаллов полупроводниковых соединений III-V на поверхностях, активированных каплями золота …. 157

O.M.Starostenko[1], O.P.Grigoryeva[1], O.M.Fainleib[1], Ol.D.Zolotarenko[2,3], O.P.Rudakova[3], An.D.Zolotarenko[3], D.V.Schur[3], N.A.Gavrylyuk[2,3], O.D.Zolotarenko[3], M.V.Chimbay[3]. *([1]Institute of Macromolecular Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine, [2]Chuiko Institute of Surface Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, [3]Frantsevich Institute for Problems of Material Science, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine).* High temperature resistant polymer nanocomposite films based on cyanate ester resin and fullerite **C_{60}** …….…….. 158

Ol.D.Zolotarenko[1], An.D.Zolotarenko[2,]*, M.T.Kartel, D.V.Schur[2], O.P.Rudakova[2], N.A.Gavrylyuk[1], O.D.Zolotarenko[2], M.V.Chimbay[2]. *([1]Chuiko Institute of Surface Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, [2]Frantsevich Institute for Problems of Material Science, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine)* Mobile hydrogen energy converter is a source of autonomous power supply …… 159

N.A.Gavryluk, B.M.Gorelov, O.V.Mischanchuk, V.N.Mischenko, N.V.Sigareva, S.V.Shulga (*Chuiko Institute of Surface Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine).* Termodestruction in hybrid epoxy – modified graphene composites …….. 160

Ol.D.Zolotarenko[1], D.V.Schur[2], M.T.Kartel, O.P.Rudakova[2], An.D.Zolotarenko[2], N.A.Gavrilyuk[1], O.D.Zolotarenko[2], M.V.Chimbay[2]. *([1]Chuiko Institute of Surface Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine [2]Frantsevich Institute for Problems of Material Science, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.)* Study of hydrogen-sorption characteristics of fullerite C_{60} ……. 161

Л.А.Песин *(Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет).* Распределение фтора по глубине при радиационной карбонизации поливинилиденфторида: эксперимент и моделирование …… 162

Ol.D.Zolotarenko[1], N.A.Gavrilyuk[1], O.P.Rudakova[2], An.D.Zolotarenko[2], D.V.Schur[2], O.D.Zolotarenko[2], M.V.Chimbay[2]. *([1]Chuiko Institute of Surface Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, [2]Frantsevich Institute for Problems of Material Science National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine).* Synthesis of boron nitride composites based on polymers for use in 3-D printing ……. 164

Shuguang Wen[1], A.Saparbaev[2] *([1]Qingdao Institute of Bioenergy and Bioprocess Technology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, China, [2]Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan).* Benzobisthiazole based conjugated polymers for organic solar cells …… 165

Х.Б.Ашуров, Б.Р.Кутлимуротов, С.Е.Максимов, Н.Н.Никифорова, Б.Л.Оксенгендлер. *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Эффект стеблера-вронского в аморфном кремнии и нанофрактальная спиновая химия ……..… 167

Р.Т.Мурзаев *(Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г.Уфа).* Оценка термического расширения углеродного композита NIC 169
U.Khalilov[1,2], M.Yusupov[1,2], A.G.Tojiboev[1], P.Nematollahi[2], Kh.Rakhimov[1], D.Husanova[1], I.Juraev and S.Z.Mirzaev[1] *([1]Department of Thermal Physics of Multiphase Systems, Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan, [2] PLASMANT Research Group, NANOLab Center of Excellence, Department of Chemistry, University of Antwerp, Universiteitsplein Antwerp, Belgium).* Growth onset of perylene-based nanocrystals ……. 170
Х.Б.Ашуров, В.Н.Арустамов, И.Х.Худайкулов, Ж.Р.Равшанов, Д.Т.Усманов (*Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Исследования наночастиц карбида вольфрама полученных плазмохимическим методом …….. 171
З.А.Исаханов, Р.М.Ёркулов, Ж.Ш.Содикжанов *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Совершенствование и разработка методов получения многокомпонентных наноструктур 172
С.Х.Сулейманов[1], Б.Л.Оксенгендлер[1,2], Н.А.Кулагина[1] *([1]Институт материаловедения НПО «Физика-Солнце» АН РУз г. Ташкент, Узбекистан, [2]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан)* Солнечная печь, гелиотехнологии в свете концепции “complexity” ……. 173
U.Khalilov[1,2], D.Husanova[1], M.Yusupov[1,2], S.Z.Mirzaev[1], E.C.Neyts[2] *([1]Department of Thermal Physics of Multiphase Systems, Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan, [2] PLASMANT Research Group, NANOLab Center of Excellence, Department of Chemistry, University of Antwerp, Universiteitsplein Antwerp, Belgium).* Catalyzed synthesis of novel structures inside a carbon nanotube ……. 175
Ш.И.Аскаров, Б.З.Шарипов, Ш.К.Салиева, Б.Ибрагимова *(Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан).* Определение оптимальных условий образования наноразмерных «квазимолекул» серы в кремнии 176
Ф.Р.Ахмеджанов, С.З.Мирзаев, Т.Ш.Мустафаев, Г.С.Нуждов *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Миграция вакансий к поверхности в кристаллах LaF_3 ……... 177
K.B.Egamberdiev, A.N.Payzillaev, V.F.Nematov, S.Z.Mirzaev *(Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan).* Analysis of nanoparticle size distribution by nanosight …….. 179

E.Bakirov[1], Kh.Yu.Rakhimov[2], S.Z.Mirzaev[2], U.Khalilov[2,3] *([1]Physics Dept., National University of Uzbekistan, Tashkent Uzbekistan, [2]Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Tashkent, Uzbekistan, [3]Department of Chemistry, University of Antwerp, Antwerp, Belgium)* Molecular dynamics simulation of graphene growth on various Ni facets …. 181

Т.К.Турдалиев, Х.Б.Ашуров *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Наноструктурный пористый кремний, получение и анализ методом комбинационного рассеяния света …….. 182

А.Ш.Вагапов[1], А.Н.Киряков[1], А.Ф.Зацепин[1], Б.Н.Оксенгендлер[1,2,3] *([1]Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия [2]Институт материаловедения НПО «Физика-Солнце» АН Уз, пос. Солнце, Узбекистан, [3]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Плазмонные возбуждения в эллипсоидальных наноструктурах меди 184

С.З.Мирзаев, К.Б.Эгамбердиев, Б.А.Аллаев, О.В.Трунилина, С.К.Теляев *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Повышение фазовой устойчивости функциональных полиэлектролитов при добавлении наночастиц SiO_2 …… 186

И.Ж.Абдисаидов, У.Ф.Бердиев, М.М.Холиков, Х.Б.Ашуров *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Получение нанокатализатора Ni для синтеза углеродных нанотрубок …… 188

D.T.Bozorova[1], D.I.Khakimboeva[2], Z.Ch.Kadirova[2], Sh.Sh.Daminova[2], R.A.Nusretov[2], Sh.P.Gofurov[3], O.B.Ismailova[1,2] *([1]Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, [2]Uzbekistan-Japan Innovation Center of Youth, Tashkent, Uzbekistan, [3]Tsukuba University, Ibaraki-shi, Japan)* Mechanisms of sulvanite nanoparticles growth in solution ……. 190

СЕКЦИЯ 7. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ И ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.

SECTION 7. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ И ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.

Ш.Д.Пайзиев *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Преобразование солнечной энергии в энергию лазерного излучения ……. 192

G.S.Boltaev *(Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan)* Ultrafast fiber laser-induced fabrication of multifunctional metal surfaces ……. 193

N.A.Gavrylyuk[1], B.M.Gorelov[1], T.Yu.Gromovoy[1], O.G.Melnychuk[2], A.M.Fainleib[2] *([1]Chuiko Institute of Surface Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, [2]Institute of Macromolecular Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Kharkiv highway).* Laser-desorption mass – spectrometry of nanocomposites of phthalonitrile polymers after preliminary heat treatment …….. 194

Э.У.Арзикулов, Ф.А.Салахитдинов, С.Н.Сражев, М.Д.Ташбоев, У.А.Усмонов *(Самаркандский государственный университет, Самарканд, Узбекистан).* Колебательные спектры в водно-спиртовых растворах ……. 195

Т.С.Камилов[1], И.Р.Бекпулатов[1], И.Х.Турапов[1], С.Т.Абраева[1] *([1]Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан).* Формирование тонких пленок Mn_4Si_7 на различных подложках методом магнетронного распыления и импульсного лазерного осаждения …….. 196

Э.У.Арзикулов, С.Н.Сражев, Ф.Салахитдинов, М.Д.Ташбоев *(Самаркандский государственный университет).* Колебательные спектры кремния ионно имплантированного марганца 198

О.И.Сабиров, У.К.Сапаев *(Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан, Ташкент, Узбекистан).* Роль домен размеров периодических кристаллов при параметрическом усилении коротких лазерных импульсов ……..… 199

И.Ю.Давлетов, Н.З.Хакимов, А.Ш.Раззоков, А.И.Жапаков, С.К.Отобаев *(Ургенческий государственный университет, г.Ургенч Узбекистан).* Воздействие лазерного излучения на материалы ……... 201

И.Ю.Давлетов, М.Э.Вапаев, Н.З.Хакимов, А.И.Жапаков, С.К.Отобаев *(Ургенческий государственный университет, г.Ургенч Узбекистан).* Исследование тепловые многозарядные ионы моноэлементной лазерной плазмы …….. 203

Ф.Шерматова, А.Шерниёзов, Ш.Пайзиев, Ш.Бегимкулов, Ф.Камолиддинов, А.Каххоров, А.Алибоев *(Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Моделирование физических процессов в лазерах со светодиодной накачкой 205

M.E.Vapayev[1*], S.B.Reyimboyev[2], B.R. Sobirov[2], S.R.Kamalov[2], I.Yu.Davletov[1], G.SBoltaev[2] *([1]Urgench State University. Urgench, Uzbekistan, [2]Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan).* Study of plasma states of metals under the influence of laser light using libs spectroscopy ……..… 207

А.Шерниёзов, Ш.Пайзиев, Ш.Бегимкулов, Ф.Шерматова, Ф.Камолиддинов, А.Каххоров, А.Алибоев. (*Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан).* Новые сенсибилизирующие материалы для Nd:YAG лазеров с солнечной накачкой …….. 209

Подписано в печать 14.09.21. Заказ №7840033
Формат 86x64 1/16, объем 14 п.л. Гарнитура Times, тираж 50.
Отпечатано ООО «Poligrafik Tekhology».
Ташкент, ул. 1-тор Катта Миробод, 18А.