

КОНФЕРЕНЦИЯ-КОНКУРС МОЛОДЫХ ФИЗИКОВ

2 марта 2015 г. Московское физическое общество, Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) и НИУ МГТУ им. Н.Э. Баумана проводят в Колонном зале и конференц-зале ФИАН конкурс-конференцию научных работ студентов, аспирантов и молодых специалистов (в возрасте до 26 лет) учебных и научно-исследовательских институтов по различным разделам физики.

В отборочный комитет конференции-конкурса поступили тезисы 58 докладов, присланные авторами, представляющими более 35 вузов и НИИ из 19 городов Российской Федерации, Израиля и Узбекистана. В итоговой сессии планируется участие более 30 конкурсантов, представивших доклады со своими соавторами и руководителями конкурсных работ. Среди них будут представлены 14 устных и около 30 стендовых докладов/кратких сообщений.

Наблюдательный совет

Багаев Сергей Николаевич – академик РАН

Крохин Олег Николаевич – академик РАН

Организационный комитет

Шапочкин М.Б. (**председатель**) – МФО

Булыженков И.Э. – МФТИ, МФО

Грибков В.А. – ИМЕТ, МФО

Демина Е.В. – ИМЕТ, МФО

Калачев Н.В. – ФИАН, МФО, ФУ

Масляев С.А. – ИМЕТ, МФО

Моргун Л.А. – ФИАН, МФО

Морозов А.Н. – МГТУ им. Н.Э. Баумана, МФО

Очкин В.Н. – ФИАН

Программно-конкурсный комитет

Грибков В.А. (**председатель**), д.ф.-м.н., проф. – МФО, ИМЕТ

Богачев С.А., д.ф.-м.н. – ФИАН

Булыженков И.Э., к.ф.-м.н. – МФТИ, МФО

Голубков Г.В., д.ф.-м.н., проф. – МГУ им. М.В. Ломоносова, ИХФ РАН, МФО

Завестовская И.Н., д.ф.-м.н., проф. – ФИАН, НИЯУ МИФИ

Калачев Н.В., д.п.н., проф. – ФИАН, Финансовый университет, МФО

Либерман М. – Nordita, KTH Royal Institute of Technology and Stockholm University, Stockholm, Sweden

Хохлов Д.Р., д.ф.-м.н., проф. – МГУ им. М.В. Ломоносова, чл.-корр. РАН

Морозов А.Н., д.ф.-м.н., проф. – МГТУ им. Н.Э. Баумана, МФО

Очкин В.Н., д.ф.-м.н., проф. – ФИАН

Тайченачев А.В., д.ф.-м.н., проф. – НГУ, ИЛФ СО РАН

Федотов А.К., д.ф.-м.н., проф. – Белорусский государственный университет

Шапочкин М.Б., д.ф.-м.н., проф. – МФО

Ученый секретарь конференции – Калачев Н.В., д.п.н., проф., ФИАН, МФО, ФУ

Программа работы Конференции-конкурса

9-30–10-15 – **регистрация** участников и вывешивание стендовых докладов

10-15–10-30 – **пленарное заседание конференц-зал** (ведущий проф. М.Б. Шапочкин)

Приветствие от ФИАН – проф. В.Н. Очкин

Приветствие от жюри – И.Э. Булыженков

Конференция-конкурс будет проводиться в **двух** секциях.

Секция «Фундаментальная физика»: ведущий И.Э. Булыженков (**конференц-зал**)

10-30–12-30 – Пленарное заседание.

Докладчики:

1. *Балицкий Ярослав Владимирович*. Московский Физико-Технический Институт (Государственный Университет). Квантовая природа подавления вакуумных флуктуаций энергии.
2. *Егоров Илья Андреевич*. Пензенский государственный университет. Экспериментально наблюдаемый осциллирующий режим 1D – диссипативного туннелирования для полупроводниковых квантовых точек.
3. *Классен Наталья Сергеевна*. Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена. Эстетическое восприятие физической теории.
4. *Крылов Иван Владимирович*. МГУ им. М.В. Ломоносова. Газовые сенсоры на основе наноструктурированного ZnO с квантовыми точками CdSe.
5. *Петросян Тамара Константиновна*. УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. Исследование фазовых переходов в графите и фуллерене C₆₀ при высоких давлениях.
6. *Смирнова Нина Сергеевна*. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 3D МГД моделирование неоднородностей сжатия z-пинчей на установке Ангара-5-1.

12-30–14-00 – Заслушивание **презентаций** стендовых докладов.

Секция «Прикладная физика»: ведущий А.Н. Морозов (**Колонный зал**)

10-30–12-30 – Пленарное заседание.

Докладчики:

1. *Бухарин Михаил Андреевич.* ООО «Оптосистемы», Московский физико-технический институт (государственный университет). Фемтосекундная запись световода с депрессированной оболочкой в кварцевом стекле.
2. *Деров Николай Александрович.* Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева. Азотирование в тлеющем разряде на вакуумной установке для дугового распыления.
3. *Замковская Анастасия Игоревна.* Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. Поиск направлений нулевого теплового расширения в кристаллах.
4. *Казиева Татьяна Вадимовна.* НИЯУ МИФИ. Разработка трехкоординатного гетеродинного лазерного интерферометра для метрологического обеспечения сканирующих зондовых микроскопов.
5. *Котова Мария Сергеевна.* МГУ имени М.В. Ломоносова. Методика создания печатаемой резистивной памяти на основе органических материалов.
6. *Литвинова Анна Олеговна.* ФИАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана. Исследование явления конверсии электромагнитного излучения в фотонных кристаллах, заполненных редкоземельными люминофорами.
7. *Соколовский Дмитрий Николаевич.* Уральский Федеральный Университет. Проводимость двустенных углеродных нанотрубок при высоких давлениях.
8. *Яковлева Екатерина Александровна.* Уральский федеральный университет, Институт Естественных Наук. Электрические свойства керамических материалов $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$, синтезированных разными методами.

14-00–14-50 – кофе брейк и ознакомление со стендовыми докладами

В 15-00 в конференц-зале ФИАН состоится обзорная лекция **Президента Австрийской академии наук, профессора Антона Цайлингера:** «Quantum Imaging and the Role of Information»

16-30–17-00 – подведение итогов, вручение дипломов и премий победителям, вручение членских билетов МФО.

Длительность докладов пленарных заседаний в секциях 15 минут.

Длительность презентаций стендовых докладов 3-5 минут. Доклад должен содержать основные результаты работы и самооценка вклада автора в полученные результаты.

По итогам конференции-конкурса предусмотрены **премии**:

- в номинации «Лучшая работа по фундаментальной физике» призовой фонд 25 тысяч рублей,
- в номинации «Лучшая работа по прикладной физике» призовой фонд 25 тысяч рублей,
- в номинации «Лучший стендовый доклад» призовой фонд 10 тысяч рублей.

Премиальный фонд финансирует ГОУВПО НИУ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Памятными дипломами будут также награждены молодые физики, занявшие вторые и третьи места.

В сборнике, выпущенном до начала конкурса, публикуются тезисы работ всех участников конкурса-конференции. Сборник является специальным выпуском журнала «Физическое образование в вузах», который является реферируемым и входит в список ВАК Российской Федерации. Все участники конференции получают твердую копию и, по желанию, электронную версию этого сборника.

Редакция журнала «Физическое образование в вузах» и МФО благодарят всех участников конференции-конкурса и желают им дальнейших успехов в учебе и научной работе.

Ученый секретарь конкурса, член правления МФО,
профессор, д.п.н., к.ф.-м.н.

Н.В. Калачев

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА

Устные доклады

КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ПОДАВЛЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ЭНЕРГИИ

Я.В. Балицкий^{1,*}, В.В. Киселев^{1,2,**}

¹ Московский Физико-Технический Институт (Государственный Университет)

² Федеральное государственное бюджетное учреждение Государственный научный центр Российской Федерации – ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ НИЦ «Курчатовский институт»

E-mail: * balytskiyyaroslav@gmail.com, ** val.kiselev@gmail.com

Проблема космологической постоянной (КП) – одна из главных нерешенных проблем современной физики [1]. Предполагается, что КП генерируется нулевыми модами квантовых полей [2] и некоторая комбинация масс частиц и массы Планка генерируют плотность энергии вакуума ρ_{vac} , что противоречит наблюдениям.

В данной работе на примере модели пространственно-глобального скалярного поля показано, что плотность энергии вакуумных мод экспоненциально подавлена средним числом квантов нестационарного случайно возбужденного поля в конечном объеме в сравнении с плотностью энергии в стационарном состоянии с минимальной энергией. Описаны следствия подобного механизма в космологии, в частности, сделаны оценки подавления космологической постоянной и очерчена предполагаемая связь такого подхода с моделью инфляции ранней Вселенной.

Работа опубликована [3] и поддержана грантом No. 14-02-00096 Российского Фонда Фундаментальных Исследований.

Литература

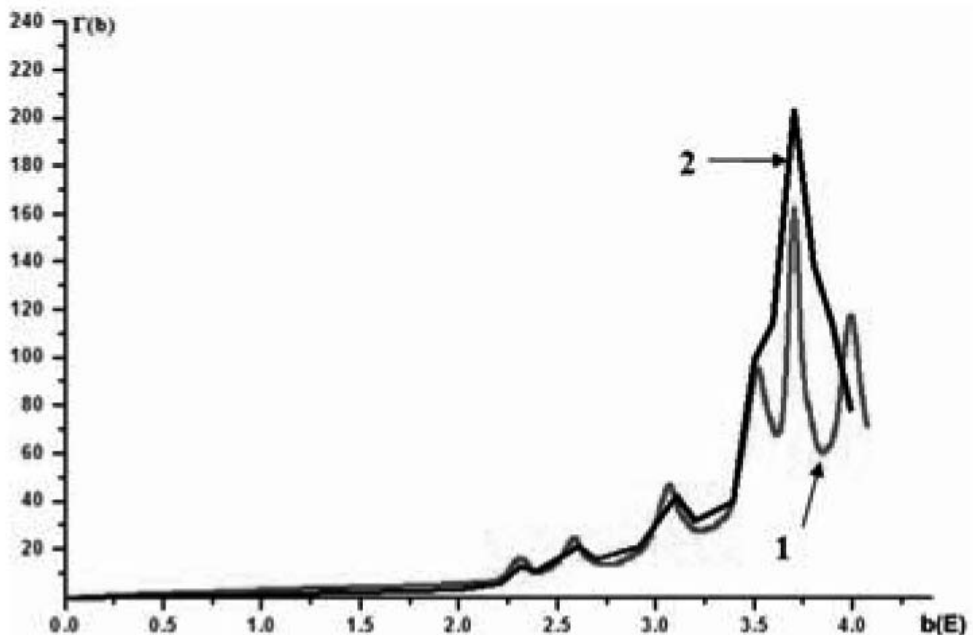
1. *S. Weinberg*, Rev. Mod. Phys. 61, 1 (1989).
2. *A. Andrianov, F. Cannata, P. Giacconi, A. Y. Kamenshchik, and R. Soldati*, Phys. Lett. B 651, 306 (2007).
3. *Ja. V. Balitsky and V. V. Kiselev*, Quantum origin of suppression for vacuum fluctuations of energy, PHYSICAL REVIEW D90, 125017 (2014).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО НАБЛЮДАЕМЫЙ ОСЦИЛЛИРУЮЩИЙ РЕЖИМ 1D – ДИССИПАТИВНОГО ТУННЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

И.А. Егоров, В.Д. Кревчик, М.Б. Семенов, Р.В. Зайцев, П.В. Кревчик

Пензенский государственный университет
440026, Пенза, Красная 40, ПГУ; e-mail: physics@pnzgu.ru

Предложена модель 1D – диссипативного туннелирования для интерпретации особенностей туннельных ВАХ, полученных в эксперименте по визуализации локальной плотности состояний в квантовых точках InAs/GaAs(001) методом туннельной атомно-силовой микроскопии (АСМ) в сверхвысоком вакууме (СВВ). Найдено, что влияние двух локальных мод широкозонной матрицы на вероятность 1D – диссипативного туннелирования приводит к появлению нескольких неэквидистантных пиков в соответствующей полевой зависимости. Показано, что теоретическая зависимость (кривая 1 на рис.) качественно согласуется с экспериментальной ВАХ (кривая 2 на рис.) контакта АСМ зонда к поверхности квантовой точки InAs/GaAs(001). Настоящая работа была инициирована экспериментом, проведенным в Казанском физико-техническом институте им.



Е.К.Завойского Казанского научного центра РАН, по измерению туннельных ВАХ полупроводниковых квантовых точек (КТ) InAs/GaAs(001), где были обнаружены несколько неэквидистантных пиков, интерпретированных нами ранее в рамках модели 1D – диссипативного туннелирования с учетом одной локальной фононной моды [1]. Именно осциллирующий режим диссипативного туннельного переноса нерезонансной природы позволил теоретически выявить хорошее качественное согласие с имеющимися экспериментальными данными. Таким образом, наряду с режимом резонансного туннелирования [1], как предполагалось ранее, необходимо также учитывать вклад диссипативного осциллирующего режима (в пределе «слабого» затухания), который может проявляться в туннельных ВАХ для полупроводниковых КТ, помещенных в широкозонную матрицу.

Литература

1. Управляемое диссипативное туннелирование (коллективная монография, посвященная памяти академика РАН А.И. Ларкина, под редакцией Нобелевского лауреата Э. Леггета, при редакционном участии В.Д. Кривичика, М.Б. Семенова, К. Ямамото и др.), Физматлит, М., 2011.

ЭСТЕТИЧЕСКОЕ ВОСПРИЯТИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Н.С. Классен, А.С. Кондратьев

РГПУ им. Герцена, г. Волосово, Гатчинская 2-36; e-mail: klassen_natali@mail.ru

Роль эстетического начала в воспитании человека очень велика. Красота – это своего рода совершенство, приподнимающий нас над обыденным, побуждающий к творчеству. Соприкосновение с прекрасным обостряет все чувства человека.

А.Б. Мигдал писал, что «красота науки, как и искусства, определяется ощущением соразмерности и взаимосвязанности частей, образующих целое и отражает гармонию мира». Именно это подчеркивает важность активного эстетического развития в процессе преподавания физики [3].

Важное отличие научной эстетики от эстетики искусства состоит в том, что для осознания красоты научной работы необходимы знания, необходима надлежащая подготовка, то есть определенный тезаурус, запас предварительной информации.

На современном этапе развития физики наблюдается повышение роли методологического принципа простоты и красоты физической теории [2].

Физика ищет скрытую внутреннюю красоту мироздания, но и красота самой физической теории часто настолько убедительна, что заставляет физиков ставить сложнейшие эксперименты, чтобы подтвердить или опровергнуть сделанные предположения.

Изящное построение, найденное ученым, почти всегда или решает поставленную задачу, или используется в будущем для других задач.

Поиски красоты ведут к познанию природы. Предполагается, что чувство прекрасного у физиков помогает отобрать идеи, позволяющие объяснить устройство природы.

Красота теории определяется следующими качествами: ее уравнения должны иметь элегантные решения; красота ее структуры; подчинение принципу симметрии [1].

Например, рассмотрим основное уравнение молекулярно кинетической теории, связывающее микропараметры частиц с макропараметрами газа. Как правило, обучающимся предлагают его вывод, рассматривая куб или выделяя объем цилиндрической формы. Данный вывод формулы является достаточно громоздким, в то время, когда есть и другой – более элегантный и красивый способ. Необходимо рассмотреть шар, что значительно упрощает решение.

Литература

1. *Вайнберг С.* Мечты об окончательной теории. М.: Едиториал УРСС, 2004. – 256 с.
2. *Кондратьев А.С.* Эстетическое развитие при изучении физики. Вестник СЗО РАО, 2000, Вып. 5.
3. *Мигдал А.* О красоте науки // «Наука и жизнь». – 1983. – № 3. – С. 59–65.

ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ZnO С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ CdSe

И.В. Крылов, К.А. Дроздов, А.С. Чижов, М.Н. Румянцева,
Р.Б. Васильев, Д.Р. Хохлов, Д.Г. Филатова, А.М. Абакумов, А.М. Гаськов

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова,
Ленинские горы, ГСП-1, Москва, 119991, Россия; e-mail: iv.krylov@physics.msu.ru

Одними из основных недостатков современных полупроводниковых газовых сенсоров являются сравнительно высокая рабочая температура и высокое энергопотребление. Поэтому, в настоящее время проводятся исследования, в которых чувствительность сенсоров поднимается путем облучения ультрафиолетовым излучением. Однако, ультрафиолетовое излучение не позволяет значительно снизить энергопотребление полупроводниковых газовых сенсоров. Представляется выгодным использовать для фотоактивации сенсоров солнечное излучение в видимом диапазоне. Это можно сделать путем фотосенсибилизации исходной структуры коллоидными квантовыми точками (КТ).

В работе исследовались оптические, фотоэлектрические и сенсорные свойства нанокристаллических тонких пленок ZnO с коллоидными квантовыми точками CdSe. Нанокристаллический оксид цинка (ZnO) был получен методом осаждения. Коллоидные квантовые точки CdSe были получены с помощью коллоидного синтеза при высокой температуре.

Были получены спектры поглощения для порошка ZnO, раствора КТ CdSe и порошка КТ CdSe/ZnO в видимом диапазоне электромагнитного излучения. Для чистого ZnO наблюдается сильное поглощение до длины волны 425 нм. При этом КТ в растворе демонстрируют существенное поглощение начиная с 550 нм. В спектрах порошковых структур с КТ имеются особенности отвечающие поглощению ZnO и КТ. Для структуры ZnO/CdSe был получен спектр фотопроводимости. На нем прослеживаются особенности соответствующие спектрам поглощения. Это говорит о том, что в системе осуществляется зарядовый обмен между квантовыми точками и исходной матрицей.

Измерения сенсорных свойств показали, что полученные наноконпозиты КТ CdSe/ZnO можно использовать для обнаружения NO₂ при активации видимым (535 нм) излучением при комнатной температуре без какого-либо теплового нагрева.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В ГРАФИТЕ И ФУЛЛЕРЕНЕ C_{60} ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Т.К. Петросян, А.Н. Бабушкин, Д.К. Кузнецов, Г.В. Тихомирова

УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

Екатеринбург, проспект Ленина, 51, ИЕН; e-mail: alximik-ptk@rambler.ru

Проведены сравнительные исследования сопротивления мономерного и ромбоэдрического фуллера в интервале давлений от атмосферного до 29 ГПа, а также графита марки ГМЗ ОСЧ под воздействием давления до 45 ГПа при комнатной температуре.

Для исследования электрических характеристик исследуемых материалов при высоких давлениях использовалась камера высокого давления (КВД) типа «закругленный конус-плоскость» с наковальнями, изготовленными из синтетических поликристаллических алмазов «карбонадо» [1]. Эти наковальни могут быть использованы в качестве электрических контактов к образцу. Сопротивление короткозамкнутых наковален составляет несколько Ом и слабо меняется с температурой. Методика позволяет изучать один и тот же образец при последовательном увеличении и снижении давления, выдерживать его под нагрузкой длительное время. Измерения проводились циклами с пошаговым увеличением и уменьшением давления от 18 ГПа до 45 ГПа для графита и от атмосферного до 29 ГПа для фуллеренов. Измерения зависимости $R(P)$ проводились с различным временем выдержки в каждой точке. Выдержка была необходима для стабилизации сопротивления.

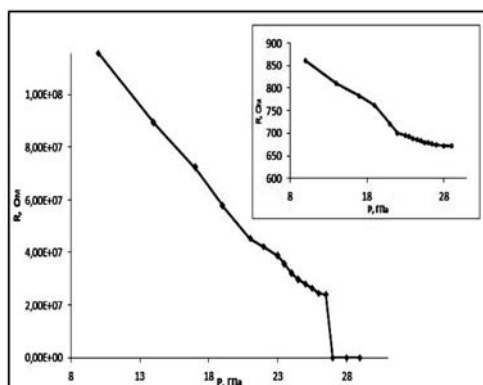


Рисунок 1. Барическая зависимость электросопротивления C_{60} при повышении давления в условиях комнатной температуры. На вставке: барическая зависимость сопротивления того же образца при понижении давления.

Обнаружены признаки зарождения новой фазы для мономерного фуллерена, но для полного перехода в неё требуется значительно больше времени, чем для ромбоэдрической фазы. На барических зависимостях сопротивления для ромбоэдрической фазы C_{60} были обнаружены особенности при давлениях около 15 ГПа и 26 ГПа. Во втором случае падение сопротивления составляло шесть порядков (рис. 1). Новая фаза высокого давления, скорее всего, связана с 3D полимеризацией через образование хаотичных ковалентных связей между соседними полимерными слоями при давлении выше 15 ГПа [2]. Определено время релаксации сопротивления обеих фаз фуллерена после изменения давления: оно составляет более двух часов. Зависимость критических давлений от условий и длительности предварительной обработки фуллерена давлением и температурой, а также размытый характер фазовых переходов связываются с большой длительностью этих переходов. Установлено, что в диапазоне давлений от атмосферного до 29 ГПа не было перехода фуллерена в графит.

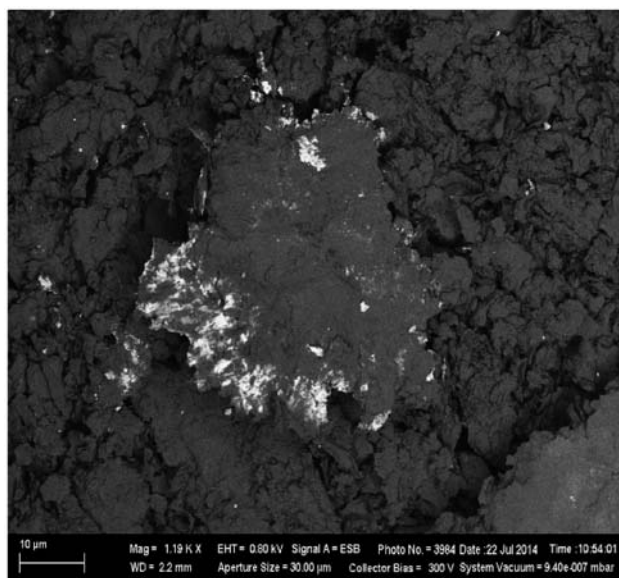


Рисунок 2. Изображение отпечатка обработанного давлением образца графита в фазовом контрасте с электронного микроскопа.

Для графита время выдержки при каждом фиксированном давлении составляло сутки. Обнаружены особенности на барической зависимости сопротивления графита в области 27-35 ГПа. В этом же интервале давлений обнаружены особенности на барических зависимостях времен релаксации сопротивления. По-видимому, это связано с возникновением зародышей новой фазы.

После измерения барических зависимостей, образец графита был помещён в рабочую станцию AURIGA CrossBeam, представляющую собой сканирующий электронный микроскоп с возможностью рентгеновского микроанализа. На рис. 2 показан снимок отпечатка образца, подвергнутого давлению в 45 ГПа. На нем ясно прослеживаются включения новой фазы, которая сохранилась после снятия нагрузки. Однако фаза, которая по сообщениям [3-5] должна быть изолятором, на графике барической зависимости электросопротивления проявляет себя слабо, так как шунтируется большим количеством графита, оставшегося после воздействия на образец давлением.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 13-02-96039-р_урал_a.

Литература

1. Л.Ф. Верещагин, Е.Н. Яковлев и др., Письма в ЖЭТФ **16**, 240 (1972).
2. К.Р. Meletov, G.A. Kourouklis, JETP **115**, 706 (2012).
3. Li Q., Ma Y., Oganov A.R. et al., Phys. Rev. Lett., **102**, 175506 (2009).
4. Amsler M., Flores-Livas J. et al., Phys. Rev. Lett., **108**, 065501 (2012).
5. Wang Y., Panzik J.E., Kiefer B., Lee K. K. M., Scientific Reports, **2**, 520 (2012).

3D МГД МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СЖАТИЯ Z-ПИНЧЕЙ НА УСТАНОВКЕ АНГАРА-5-1

Н.С. Смирнова^{1,2}, В.А. Гасилов¹, О.Г. Ольховская¹

¹Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

²МГТУ им. Н.Э.Баумана; e-mail: ms.nsmirnova@yandex.ru

Проведено трехмерное моделирование с помощью РМГД кода MARPLE-3D имплозии многопроволочныхборок на установке Ангара-5-1 с целью изучения плазменных неустойчивостей, возникающих на стадии окончания плазмообразования, и их развития вплоть до финальной стадии сжатия многопроволочной сборки. Исследованы пространственные неоднородности распределения вещества и магнитного потока внутри проволочной сборки и их эволюция на различных этапах сжатия пинча.

Результаты моделирования сопоставляются с данными, полученными на установке Ангара-5-1 (ФГУП ГНЦ РФ ТРИНИТИ). Расчеты выполнялись для многопроволочных конфигураций, описанных в работе [1], где были экспериментально исследованы особенности формирования прорывов магнитного потока внутрь сборки на финальной стадии плазмообразования проволочныхборок из различных металлов и измерены их характеристики.

Эмиссия плазмы из вещества проволочной сборки учитывалась в модели затянутого плазмообразования с пространственным модулированием скорости плазмообразования в соответствии с размерами областей пониженной эмиссии плазмы, экспериментально зарегистрированных на кадровых и интегральных по времени рентгеновских изображениях.

Работа поддержана грантами РФФИ 14-01-31154-мол_а, 13-02-00013-а, 14-01-00678-а и программой фундаментальных исследований №3 ОМН РАН.

Для вычисления использовались суперкомпьютеры К-100 (ИПМ им. М.В. Келдыша), МВС-100К (МСЦ РАН) и «Ломоносов» (НИВЦ МГУ).

Литература

1. Исследование фазы окончания плазмообразования и формирования прорывов магнитного потока при имплозии проволочной сборки / К.Н. Митрофанов [и др.] // Физика плазмы. – 2014. – Т. 40, № 9. – С. 779-806.

Постер/Краткое сообщение

ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ПОЛЕ ПРОИЗВОЛЬНО ПОЛЯРИЗОВАННОЙ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

Н.С. Акинцов, Г.Ф. Копытов, А.А. Мартынов, Г.М. Акопян

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет»
(ФГБОУ ВПО КубГУ); e-mail: akintsov777@mail.ru

Исследование уравнения движения заряженной частицы в поле амплитудно-модулированной электромагнитной волны представляет интерес в связи с практической разработкой многочастотных лазеров и развитием техники модуляции лазерного излучения.

В настоящей работе рассматривается динамика электрона в интенсивном амплитудно-модулированном электромагнитном поле эллиптической поляризации. Взаимодействия заряженных частиц со сверхкороткими лазерными импульсами фемтосекундной длительности и с интенсивностями излучения до 10^{22} Вт/см² является одним из основных направлений лазерной физики в настоящее время.

В данной работе полагалось, что плоская монохроматическая электромагнитная волна модулирована по амплитуде [1]. Рассмотрены уравнения движения частицы во внешнем поле эллиптически поляризованной амплитудно-модулированной электромагнитной волны большой интенсивности и получен следующий результат для средней кинетической энергии частицы, усредненной по периоду её колебаний:

$$\bar{\varepsilon} - mc^2 = \frac{\mu mc^2}{4} \left\{ \left(6 + \frac{\sigma^2}{2} \right) + \frac{7\mu + \mu\sigma^2 + 32}{2\sqrt{\mu(\sigma^2 + 3)} + 4\sqrt{\mu(\sigma^2 + 1)} + 4} \right\},$$

где mc^2 – энергия покоя заряженной частицы; $\sigma^2 = \delta^2 / k_i^2$; δ – глубина модуляции волны; $k_i \in [0;1)$ – параметр определяющий отношение частот $\omega_2 = \omega + \omega_1$ и $\omega_3 = \omega - \omega_1$ к частоте несущей волны ω , а по индексу $i = 2,3$ проводится суммирование; ω_1 – частота модуляции.

В формуле для средней кинетической энергии частицы параметр μ определяется выражением:

$$\mu = \left(\frac{q\rho b}{mc\omega} \right)^2 \left(\sin^2 \Phi_0 + \frac{1}{2} \right) = \frac{2q^2}{\pi m^2 c^5} I \lambda^2 \left(\sin^2 \Phi_0 + \frac{1}{2} \right),$$

где Φ_0 – начальная фаза волны; $I = c\rho^2 b^2 / 4\pi$ – интенсивность электромагнитной волны; $\lambda = 2\pi c / \omega$ – длина волны; ρ – параметр эллиптичности ($\rho = \pm 1$ – соответствует линейной поляризации, а $\rho = \pm 1/\sqrt{2}$ – круговой поляризации). В остальных случаях величина ρ соответствует эллиптической поляризации ($0 \leq \rho \leq 1$) [2].

Полученная формула для $\bar{\epsilon}$ содержит явную зависимость от начальных данных: амплитуды электромагнитной волны, глубины модуляции, частоты несущей волны, частоты модуляции, интенсивности, фазы волны и её поляризации, что позволяет проводить практические расчеты. При отсутствии модуляции ($\delta = 0$) получаем формулы для случая линейной поляризации, а при начальной фазе $\Phi_0 = \pi/2, 3\pi/2$ для круговой поляризации из [3]. Приведенные результаты могут использоваться для интерпретации экспериментов с плазмой, помещенной во внешнее электромагнитное поле.

Литература

1. Копытов Г. Ф., Оксюзян С. С., Тлячев В. Б. К вопросу о характеристиках излучения электрона в модулированном электромагнитном поле // Ред. журн. Изв. вузов. Физика. Томск, 1987. 15 с. Деп. в ВИНТИ 14.09.85, № 7353-87.
2. Аззам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет. – М.: Мир, 1981. – 583 с.
3. Андреев С. Н., Макаров В. П., Рухадзе А. А. О движении заряженной частицы в поле плоской монохроматической электромагнитной волне // Квантовая электроника. 2009. Т. 39. № 1. С. 68–72.

УМЕНЬШЕНИЕ АСПЕКТНОГО СООТНОШЕНИЯ СТРУКТУР ПРИ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ЗАПИСИ В КУМУЛЯТИВНОМ РЕЖИМЕ

М.А. Бухарин^{1,2}, Д.В. Худяков², С.К. Вартапетов

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²ООО «Оптосистемы», г. Москва; e-mail: Mikhail.Bukharin@phystech.edu

Под действием сфокусированного лазерного излучения фемтосекундной длительности в оптически прозрачных средах может наблюдаться эффект перманентного изменения показателя преломления [1], который используется для создания оптических волноводов [2]. Одним из ограничивающих факторов, приводящих к асимметрии области взаимодействия вещества с лазерным излучением, является самофокусировка. Для компенсации её влияния используются дополнительные корректирующие системы [3]. В настоящей работе впервые исследуется зависимость асимметрии (аспектного отношения) области взаимодействия в тепловом кумулятивном режиме и предлагается метод создания высоко симметричных фазовых структур без использования корректирующей оптики.

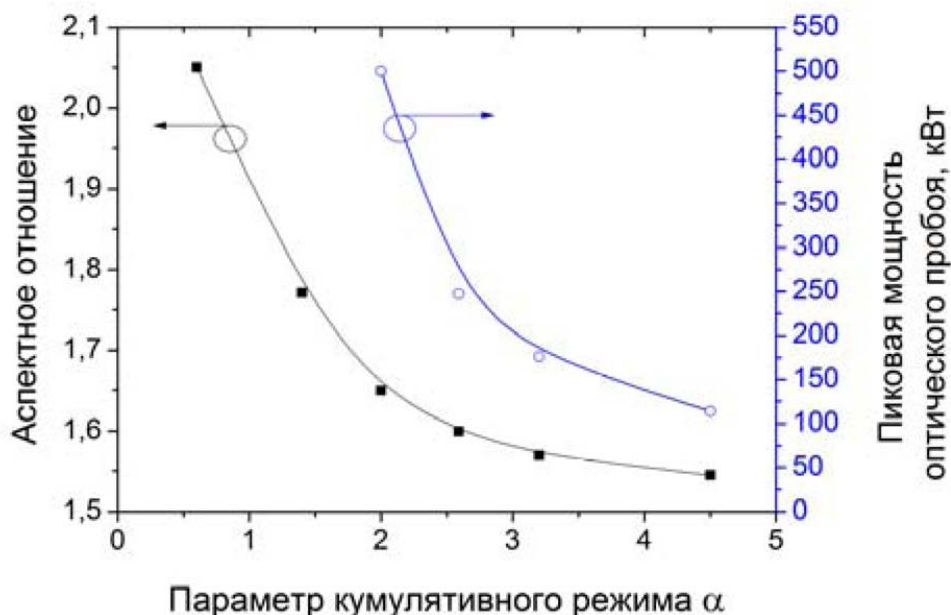


Рисунок 1. Снижение необходимой пиковой мощности и аспектного соотношения при переходе в кумулятивный режим.

В настоящей работе было выявлено, что при уменьшении периода между последовательными лазерными импульсами ниже характерного времени тепловой диффузии из фокального пятна (параметр α равен отношению этих времен) аспектное отношение области с индуцированным показателем преломления существенно уменьшается (см. рис. 1). Была показана связь этого эффекта с уменьшением влияния самофокусировки (из-за снижения необходимой пиковой мощности) и увеличением влияния изотропного теплового воздействия на материал. Предложенный метод был экспериментально реализован в кварцевом стекле, а полученные результаты находятся в согласии с расчетами.

Литература

1. *R. Osellame, ed., Femtosecond Laser Micromachining* – London: Springer, 2012 – 481 с.
2. *Rafael R. Gattass and Eric Mazur, Nature Photonics*, v. 2, p. 219-225 (2008).
3. *A. Mermillod-Blondin, et. al., App. Phys. Lett.*, v.92, 021921 (2008).

ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЖИДКОГО УГЛЕРОДА В ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ ОТ 100 ДО 400 МПА

П.С. Вервикишко, Т.В. Бгашева, М.А. Шейндлин

Объединенный Институт Высоких температур РАН,
125412, Россия, Москва, Ижорская 13, стр. 2; e-mail: pvervishko@gmail.com

Исследования теплофизических свойств углерода в окрестности точки плавления проводятся более ста лет [1], при этом результаты многих работ противоречат друг другу. Основные трудности в исследовании жидкого углерода связаны с интенсивным парообразованием в области точки плавления. В связи с этим и рядом других факторов в литературе имеется существенный разброс данных касательно точки плавления углерода (4530-5080К). Положение тройной точки (выше 100 бар) и высокая температура существования жидкого углерода не позволяют изучать процессы формирования и кристаллизации жидкого углерода классическими методами.

В докладе приведены результаты экспериментов, проведенных на установке аналогичной [2], нагрев образца производился лазерным импульсом длительностью до 50 мс и мощностью до 3000 Вт. Образец графита марки ЕС-02 находился в атмосфере гелия при давлении от 500 до 3600 бар. Температура поверхности измерялась яркостным монохроматическим пирометром на длине волны 650 нм. Состояние поверхности,

появление жидкой фазы и кристаллизация детектировались при помощи высокоскоростной контрастной киносъемки. Особое внимание уделялось анализу переплавленной зоны методом электронной микроскопии. Кристаллические образования существенно различаются в зонах расположения капли жидкого углерода и ее окрестностях (Рис. 1).

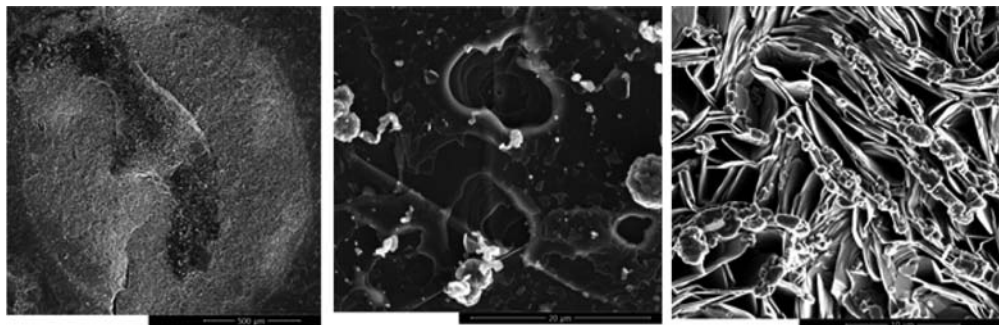


Рисунок 1. Микрофотографии графита ЕС-02: а–общий вид поверхности с закристаллизовавшейся каплей жидкого углерода, б–участок на поверхности капли, в–участок вблизи капли.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект номер 14-50-00124).

Литература

1. *A. Ludwig, Z. Elektrochem.* 8, 273 (1902).
2. *M. Musella, C. Ronchi, M. Brykin and M. Sheindlin.* The molten state of graphite: An experimental study. *J. of Applied Physics*, 84, No.5 (1998), p. 2530-2537.

ИЗУЧЕНИЕ ТОНКОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТЕОРИТА КАМПО-ДЕЛЬ-СЬЕЛО

С.С. Гонцова, Е.М. Максимова, И.А. Наухацкий

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,
295007, пр. Вернадского, 4, г. Симферополь, Россия; e-mail: lenamax112@rambler.ru

Доскональное изучение физических характеристик и особенностей взеземного вещества метеоритов позволяет получить ценную информацию о формировании вещества на начальных этапах образования Солнечной системы. В зависимости от состава все известные метеориты подразделяются на три основных класса: каменные

(аэролиты); железокремнистые (сидеролиты); железные (сидериты). По существу, все метеориты можно рассматривать как сочетание силикатной и металлической фаз, иногда с примесью (большей или меньшей) сульфидной фазы. Каменные метеориты состоят преимущественно из силикатных минералов, железные — из никелистого железа, железо-каменные примерно из равных количеств силикатной и металлических фаз [1].



Рисунок 1. Исследуемый образец

Методом рентгеноструктурного анализа был исследован минеральный состав осколка метеорита Кампо-дель-Сьело, размером 1,5 см на 2 см, рис.1. Campo del Cielo (в переводе с исп. означает «Небесное поле») — название засушливой области на севере Аргентины, где и был найден этот метеорит.

Исследование образца проводилось на дифрактометре общего назначения «ДРОН-3» методом порошков с использованием медного излучения ($\text{Cu } K_{\alpha}$). Съемка проводилась в области углов от 10° до 100° . В образце присутствуют следующие кристаллические фазы [2]:

- камасит, тэнит — самородное железо космического происхождения;
- троилит, сфалерит, добрелит, алабандин — группа сульфидов;
- энстатит, геденбергит, пижонит, оливин, плакиоглаз — группа силикатов;
- графит, хромит, когенит и шрейберзит.

Авторы выражают благодарность сотруднику НИИ КРАО Теребижу В.Ю. за предоставленный для исследования образец.

Литература

1. Додд Р.Т. Метеориты: Пер. с англ. — М.: «Мир», 1986. — 384 с.
2. Crystallographic and Crystallochemical Database for Minerals and their Structural Analogues [Электронный ресурс]. — Режим доступа к статье: database.iem.ac.ru.

ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ ПО СКОРОСТЯМ В ПЛАЗМЕ СОБСТВЕННОГО ГАЗА

А.С. Мустафаев, М.А. Аинов, А.Ю. Грабовский, В.С. Сухомлинов*

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

*Санкт-Петербургский государственный университет

199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия В.О., д. 2;

e-mail: rectorat@spmi.ru

Исследование функции распределения ионов (ФРИ) по скоростям представляет интерес по ряду причин, среди которых: вопросы изучения плазмохимических реакций, идущих с участием ионов; определение подвижности ионов в плазменном объекте; процессы нагрева нейтрального компонента плазмы и ряд других. В качестве технических приложений можно выделить современные плазменные нанотехнологии, тонкую очистку ионами поверхности изделий, технологию избирательного травления и создания рельефов на поверхности за счёт бомбардировки потоками ионов.

Результаты теоретических исследований ионной компоненты наиболее полно представлены в работах [1–4]. Автор [2] в своей работе приводит результаты расчета дрейфовой скорости ионов инертных газов в собственном газе. Однако, сравнение с известными экспериментальными данными показывает заметное расхождение, особенно значительное для He. При этом констатируется, что причины расхождения не ясны.

Значительному объему теоретических исследований явно противоречит практически полное отсутствие экспериментальных работ, за исключением [5], где спектроскопически измерялся доплеровский сдвиг ионных линий в разряде в аргоне при наблюдении вдоль оси разряда, и по его величине делалось заключение о средней скорости ионов, которая в условиях экспериментов авторов оказывалась порядка 10^4 см/с.

В настоящей работе развит и экспериментально апробирован зондовый метод диагностики функции распределения ионов. Показана возможность восстановления полной ФРИ по энергиям из измерения первых семи коэффициентов разложения ФРИ в ряд по полиномам Лежандра. Измерены первые семь лежандровых коэффициентов разложения ФРИ по энергиям и углам для He^+ в He и Ar^+ в Ar. Основное условие, ограничивающее область применимости этого метода – малость толщины слоя Дебая около зонда по сравнению с размерами зонда.

Для проверки надежности и точности разработанного метода найдено аналитическое решение кинетического уравнения Больцмана для ионов в плазме собственного газа в условиях, когда доминирующим процессом является резонансная перезарядка и ион на длине свободного пробега приобретает скорость много большую

характерной скорости теплового движения атомов. При этом величина электрического поля в плазме может быть произвольной. Теория описывает большой массив известных экспериментальных данных по скоростям дрейфа и приведенным подвижностям атомарных и молекулярных ионов в плазме собственного газа.

Проведено сравнение расчетов дрейфовой скорости ионов He^+ в He , Ar^+ в Ar , Hg^+ в Hg с известными экспериментальными данными, которое показало их хорошее соответствие. Результаты проведенных сравнений позволили сделать вывод о том, что данной теорией можно пользоваться для проверки экспериментальных результатов зондовых измерений. Кроме того, сравнение результатов расчетов зависимости средней энергии иона He^+ в He от приведенного поля $\frac{E}{P_0}$ с данными, полученными численным моделированием методом Монте-Карло [6], также показало их хорошее соответствие.

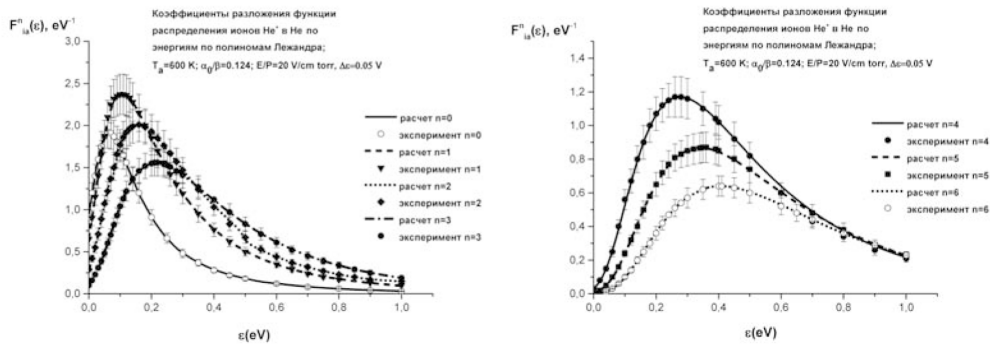


Рисунок 1. Энергетическая зависимость шести коэффициентов разложения ФРИ He^+ в He по полиномам Лежандра с экспериментальными данными, полученными с помощью разработанного зондового метода; $T_a = 600 \text{ K}$; $\frac{E}{P_0} = 20 \frac{\text{В}}{\text{см тор}}$, $P = 0,2 \text{ тор}$, $\alpha = 0,124$, $\Delta \epsilon = 0,05 \text{ В}$.

Проведено сравнение измеренных и рассчитанных по разработанной теории ФРИ первых семи коэффициентов в ее разложении в ряд по полиномам Лежандра для ионов He^+ в He и Ar^+ в Ar . Результаты расчетных и экспериментальных данных, с учетом аппаратной функции метода измерений, находятся в хорошем согласии (рис. 1).

Установлено, что при скоростях ионов меньше средней тепловой скорости атомов ионы по скоростям распределены изотропно, несмотря на наличие сильного поля. При увеличении скорости иона распределение становится все более вытянутым в направлении электрического поля (рис. 2), что указывает на его возрастающую анизотропию.

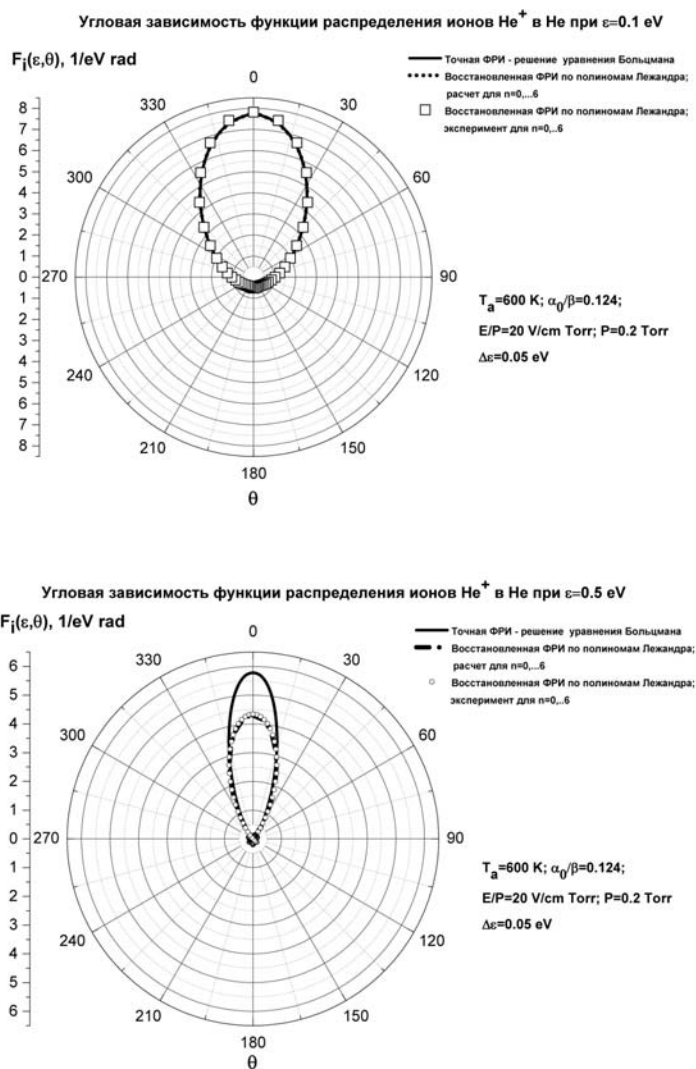


Рисунок 2. Сравнение теоретически рассчитанных и экспериментально определенных угловых зависимостей ФРИ He^+ в He; $T_a = 600$ К; $\frac{E}{P_0} = 20 \frac{\text{В}}{\text{см Torr}}$, $P = 0,2 \text{ Torr}$, $\alpha = 0,124$, $\Delta\varepsilon = 0,05$ В. Вверху – $\varepsilon = 0,1$ эВ, внизу – $\varepsilon = 0,5$ эВ.

Литература

1. Смирнов Б.М. // ЖТФ. 1966. т. 36. №10. С. 1864–1871.

2. Перель В.И. // ЖЭТФ. 1957. Т. 32. С. 526–533.
3. Фок В.А. // ЖЭТФ. 1948. Т. 18. С. 1048–1055.
4. В.Е. Голант, А.П. Жилинский, С.А. Сахаров. // Основы физики плазмы. М.: Атомиздат, 1977. 150 с.
5. С.Э. Фриш, Ю.М. Каган. // ЖЭТФ. 1947. т. 17. С. 577–584.
6. J.A.S. Barada, C.A.N. Conde. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2010. Vol. 619. P. 21–23.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В НАНОКОМПОЗИТАХ НА ОСНОВЕ ТЕТРАЗОЛА

Дао Тхи Хонг, Р.А. Кастро

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена;
191186, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки 48, Россия; e-mail: honghip2012@gmail.com

На сегодняшний день производные тетразола являются перспективными материалами, которые используются в различных отраслях в качестве реагентов в аналитической химии, ингибиторов коррозии, также являются компонентами высокоэнергетических материалов. Поэтому исследование диэлектрических свойств данного класса материалов является актуальным, и целью работы заключалась в установлении особенностей механизмов низкотемпературной диэлектрической релаксации в нанокомпозитах на основе тетразолсодержащего полимера методом диэлектрической спектроскопии [1, 2].

Объектом исследований является полимер поли-N-метилаллил-5-винилтетразол (МПВТ-А). В роли пластификатора выступал диметилформамид (ДМФА). Отверждение исследуемых образцов осуществляли низкотемпературным отверждающим агентом ди-N-оксид-1,3-динитрил-2,4,6-триэтиленбензол (ТОН-2).

Измерения проводились на спектрометре «Concept 81» компании NOVOCONTROL Technologies GmbH & Co. Образцы представляли собой тонкие слои толщиной 0.3-0.5 мм и диаметром 20.0 мм. Измерения диэлектрических параметров (составляющих комплексной диэлектрической проницаемости ϵ^*) образцов ПКМ были выполнены в интервале температур от 173К до 223 К (точность 0,5 °С). Измерительное напряжение, подаваемое на образец, составляло 1,0 В.

В ходе исследования обнаружено существование низкотемпературного релаксационного процесса (рис. 1). Наличие максимумов на частотной зависимости фактора диэлектрических потерь ϵ'' обусловлено, по-видимому, релаксацией структурных комплексов связанных с полимерной матрицей.

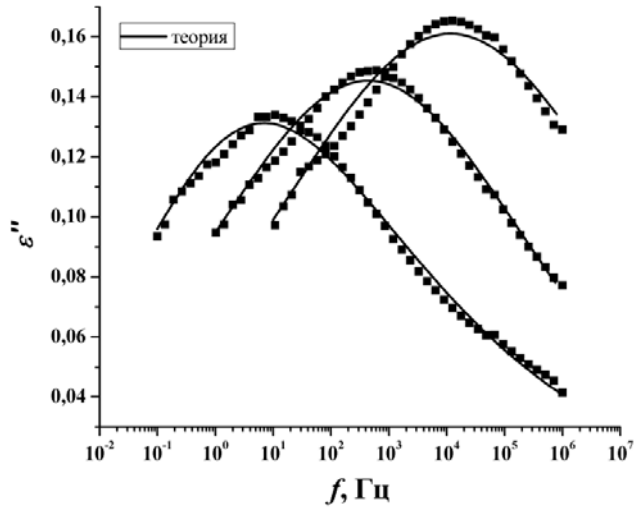


Рисунок 1. Частотная зависимость фактора диэлектрических потерь при температурах $T = 173; 193; 223$ К.

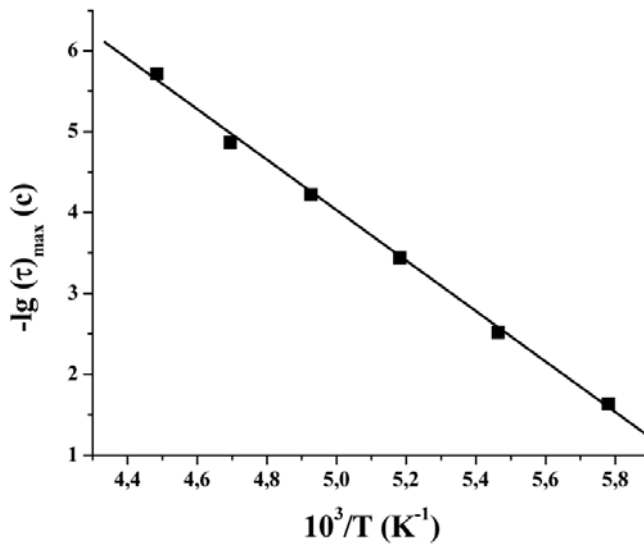


Рисунок 2. Температурная зависимость частоты релаксационных максимумов.

Результаты измерения диэлектрических спектров аппроксимировались двухпараметрической эмпирической функцией Гавриляк–Негами [1]. На основе этой

аппроксимации выделялись положения максимумов диэлектрических потерь и определялись значения релаксационных параметров. Полученные результаты указывают на существование распределения релаксаторов по временам релаксации согласно модели Коула–Коула (для случая симметричного распределения времен релаксации). Энергия активации указанного процесса диэлектрической релаксации, рассчитанная по температурной зависимости частоты релаксационных максимумов оказалась равной $E_a = (0.62 \pm 0.02)$ эВ (рис. 2).

Литература

1. *F. Kremer, A. Schonhals*. Broadband Dielectric Spectroscopy. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 2003. 729 p.
2. *Кастро Р.А., Бордовский В.А., Грабко Г.И.* Дисперсия диэлектрических параметров в модифицированных слоях триселенида мышьяка. Письма в Журнал технической физики. 2010. Т. 36. № 17. С. 9-15.

МИКРОСТРУКТУРА И ФОТОЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ В ПЛЕНКАХ PbSe

С. Г. Егорова¹, В.И. Черничкин², В.А. Касьян³, Л.И. Рябова⁴,
Д.Р. Хохлов⁵

¹аспирант, МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, 119991, Ленинские горы, дом 1, стр. 2

²м.н.с., МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, 119991, Ленинские горы, дом 1, стр. 2

³профессор, университет Бен-Гурион, Беэр Шева, Израиль

⁴проф., МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, 119991, Ленинские горы, дом 1, стр. 3

⁵член-корр. РАН, профессор, МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, 119991,
Ленинские горы, дом 1, строение 2; e-mail: egorova@physics.msu.ru

Селенид свинца является одним из базовых материалов инфракрасной оптоэлектроники. Фоточувствительность и неравновесный транспорт пленок зависят от совокупности многих факторов, в число которых входят тип внешнего воздействия и характерные особенности микроструктуры используемых соединений.

В настоящей работе рассмотрены результаты комплексного исследования пленок PbSe с варьируемой микроструктурой в условиях стационарной и импульсной подсветки терагерцовым лазером, в магнитных полях до 7 Тл и в диапазоне температур 4,2 – 300 К. Толщина пленок d варьировалась от 150 нм до 1500 нм.

Свойства пленок PbSe в существенной степени определяются микроструктурой,

в частности, степенью окисления зерен и характером формирования межзеренных границ. С увеличением толщины пленки растет размер зерна, вследствие этого тип проводимости изменяется с дырочного на электронный.

Экспериментально установлено, что трансформация микроструктуры пленок при отжиге в кислороде имеет следующие стадии: пленки n -типа с металлической проводимостью – пленки p -типа с активационной проводимостью – пленки p -типа с металлической проводимостью. При этом эдс фотоэлектромагнитного эффекта изменяется следующим образом: задержанный сигнал направленный от поверхности в объем – уменьшение сигнала – появление быстрого (повторяющего форму лазерного импульса) сигнала, направленного к поверхности.

В ходе работы подтверждено, что проводимость нанокристаллических пленок селенида свинца определяется суперпозицией вкладов от различных элементов микроструктуры: зерна, межзеренных границ и инверсионных каналов на поверхности зерен.

Окисление приводит к повышению фоточувствительности пленок, смене типа проводимости на дырочный в образцах n -типа и формированию в них межкристаллитных барьеров. Полученные данные объяснены с привлечением модели, предполагающей формирование инверсионных каналов с дырочной проводимостью на поверхности зерен n -типа.

СИММЕТРИЧНЫЙ ДИСКОРД В ДВУХКУБИТНЫХ Х-СОСТОЯНИЯХ

Е.О. Киктенко, А.К. Федоров

МГТУ им. Н.Э. Баумана; e-mail: evgeniy.kiktenko@gmail.com

Квантовый дискорд [1, 2] является важной величиной, описывающей степень «неклассичности» корреляций в двусоставных квантовых состояниях. Двусоставные квантовые системы играют важную роль для квантовых технологий. По определению, дискорд представляет собой разницу между величиной квантовой взаимной информации в исходном состоянии и максимальной величиной взаимной информации после измерения одной из подсистем. Прямым обобщением понятия квантового дискорда является величина симметричного дискорда [3], получаемого в случае измерения обеих подсистем.

В общем случае, анализ квантового дискорда связан с серьезными вычислительными трудностями из-за процедуры максимизации по всем возможным операторам поворота. Для преодоления этих трудностей было предложено

рассматривать измерения в базисах, образованных собственными векторами подсистем. Результирующая величина получила название томографического дискорда [4].

В настоящей работе исследована связь между симметричным и томографическим дискордами для двухкубитных X-состояний. Такие состояния представляют большой интерес, поскольку для них ранее были получены аналитические выражения, позволяющие вычислить несимметричный дискорд с большой степенью точности [5].

Основным результатом работы является аналитическое выражение для симметричного дискорда, согласно которому все двухкубитные X-состояния допускают разделение на два класса. Для первого класса симметричный дискорд оказывается равным томографическому. Для второго – оптимальным оказывается базис измерения, дополнительный к измерительному базису для томографического дискорда. Таким образом, максимизация классической информации сводится к рассмотрению двух случаев, что позволяет эффективно вычислять симметричный квантовый дискорд [6].

Работа выполнена при поддержке Russian Quantum Center и фонда “Династия”.

Литература

1. H. Ollivier and W.H. Zurek // Phys. Rev. Lett. 88, 017901 (2001).
2. L. Henderson and V. Vedral // J. Phys. A 34, 6899 (2001).
3. S. Luo and Q. Zhang // J. Stat. Phys. 136, 165 (2009).
4. V.I. Man'ko and A. Yurkevich // J. Russ. Laser Res. 34, 463 (2013).
5. Y. Huang // Phys. Rev. A 88, 014302 (2013).
6. E.O Kiktenko and A.K. Fedorov // Phys. Lett. A 378, 1704 (2014).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ ГРУПП МЮОНОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ЧЕРЕНКОВСКОМ ВОДНОМ ДЕТЕКТОРЕ

Е.А. Ковьялева, А.Г Богданов, Л.И. Душкин, В.В. Киндин,
Р.П. Кокоулин, А.А. Петрухин, В.А. Хомяков, С.С. Хохлов,
В.В. Шутенко, И.И. Яшин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
115409, г. Москва, Каширское шоссе, 31; e-mail: eakovlyayeva@mephi.ru

В настоящее время космические лучи сверхвысоких энергий ($>10^{15}$ эВ) исследуются только с помощью широких атмосферных ливней (ШАЛ). При больших зенитных углах «выживает» только мюонная компонента, приходящая в детектор в

виде групп частиц с квазипараллельными треками (группы мюонов). В ряде экспериментов в космических лучах ультравысоких энергий был обнаружен избыток многомюонных событий по сравнению с результатами моделирования, полученными в рамках существующих моделей адронного взаимодействия. Одним из путей решения проблемы этого избытка является исследование энергетических характеристик мюонной компоненты ШАЛ. Возможный подход – измерение энерговыделений групп мюонов в веществе детектора. Такой эксперимент проводится в настоящее время на экспериментальном комплексе НЕВОД-ДЕКОР. Совместная работа черенковского водного калориметра НЕВОД [1] и координатно-трекового детектора ДЕКОР [2] обеспечивает необходимые условия для проведения таких исследований. Анализ данных показал, что при малых зенитных углах прихода групп ($\theta = 40^\circ$ - 55°) существенный вклад в энерговыделение в водном детекторе вносят электронно-фотонная и адронная компоненты ШАЛ. Для зенитных углов $\theta > 55^\circ$, когда в событиях остаются практически чистые мюоны, наблюдается рост среднего удельного энерговыделения с увеличением зенитного угла, что связано с возрастанием средней энергии мюонов в группах. Полученный результат хорошо согласуется с расчетами, выполненными с помощью программы CORSIKA [3]. Таким образом, впервые получены экспериментальные данные по энерговыделению групп мюонов, которые могут послужить основой для выявления природы избытка мюонов при сверхвысоких энергиях.

Работа выполнена на уникальной научной установке ЭК НЕВОД при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (проект RFMEFI59114X0002) и гранта ведущей научной школы НШ-4930.2014.2.

Литература

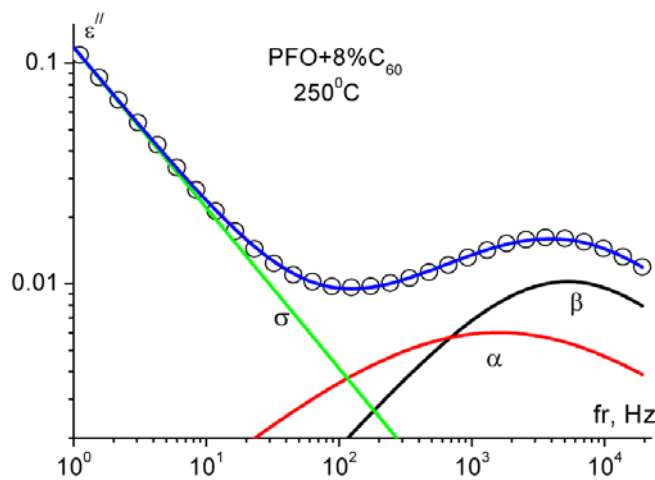
1. V.M. Aynutdinov *et al.*, Astrophysics and Space Science 258, 105 (1998).
2. Н.С. Барбашина и др., ПТЭ, № 6, 20 (2000).
3. D. Heck *et al.*, Forschungszentrum Karlsruhe Report, FZKA 6019 (1998).

ПЕРВОПАРОЦИОННЫЕ ФУЛЛЕРЕНСОДЕРЖАЩИЕ НАНОКОМПОЗИТНЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИФЕНИЛЕНОКСИДА: ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ РЕЛАКСАЦИЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ПОДВИЖНОСТЬ

А.А. Кононов, Р.А. Кастро, Н.А. Никонорова

РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург; e-mail: rakot1991@mail.ru

Полимеры являются идеальными матрицами для создания новых материалов с заданными свойствами и, в частности, для получения первапорационных мембран (ПМ). Модификация ПМ путем введения углеродных наночастиц в полимерную матрицу приводит к получению мембран с повышенным уровнем селективности и производительности. Свойства нанокompозитов зависят не только от химического строения матрицы, концентрации и природы наночастиц, но и от молекулярной подвижности, определяемой внутри- и межмолекулярными взаимодействиями. В данной работе методом диэлектрической спектроскопии исследована молекулярная подвижность нанокompозитов на основе полифениленоксида (ПФО) с 0, 1, 2, 4 и 8% фуллерена (C_{60}).



Диэлектрические спектры получены на широкополосном спектрометре «Novocontrol». В интервале частот 10^{-2} – 10^7 Гц и температур $+20^\circ\text{C}$ – $+250^\circ\text{C}$ обнаружено два процесса релаксации дипольной поляризации: α и β (на Рис. дан пример разделения экспериментальной зависимости ϵ'' от частоты на два процесса + вклад за счет проводимости). Сопоставление параметров молекулярной подвижности для процессов релаксации дипольной поляризации для нанокompозитов с различной концентрацией

C_{60} и модельных систем позволяет связать α процесс с сегментальной подвижностью основных цепей, а β – с локальной подвижностью полярных групп.

Параметры молекулярной подвижности для α и β процессов определены с помощью эмпирического уравнения Гаврилиак–Негами. Наиболее вероятное время релаксации, $\tau_{\text{макс}}$, этих процессов определяется как:

$$\tau_{\text{макс}} = \tau_{HN} \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi(\alpha_{HN})\beta_{HN}}{2(\beta_{HN} + 1)}\right)}{\sin\left(\frac{\pi(\alpha_{HN})}{2(\beta_{HN} + 1)}\right)} \right]^{1/(\alpha_{HN})}$$

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ ПРИ НАЛИЧИИ СТАЦИОНАРНОГО ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУР

А.Н. Матятина, Н.П. Калашников, А.С. Ольчак

Россия, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

В недавних работах ученых МГТУ им. Баумана, обобщенных в монографии [1], описываются наблюдавшиеся в многочисленных экспериментах необычные эффекты, связанные с разрушением тонких металлических пленок и проволок при пропускании относительно небольших токов и, соответственно, при относительно низких температурах. В частности, наблюдалось разрушение тонких металлических проволок (0,1–0,5 мм диаметром) из тугоплавких материалов (Mo, Ni, W, Ta, сталь), одновременно во многих местах по всей длине, сопровождающееся предварительным оплавлением относительно холодных наружных слоев проволоки и/или ее приконтактных участков при температурах, заметно меньших табличной температуры плавления.

Трудно объяснить эти эффекты обычными термическими процессами, аналогично объяснениям экспериментов по взрыву тонких проволок сильными импульсными токами (см., например, [2]). В экспериментах [1, 3] было установлено, в частности, что разрушение и оплавление происходят не в самых нагретых частях металла, а в области высокого градиента температуры на переходе между холодными и нагретыми участками. Однако конкретный механизм разрушения и оплавления оставался не вполне понятным. В настоящей работе предлагается возможное объяснение этого явления, связанное, в первую очередь, с возникновением высоких градиентов электронной плотности и, соответственно, высоких напряженностей электрических

полей в области высоких градиентов температуры. Подробнее теория этого явления излагается в монографии [4].

Литература

1. *Марахтанов М.К., Марахтанов А.М.* Неожиданные квантовые явления в известных электрических процессах. – М.: КРАСАНД, 2010. – 312 с.
2. *Бурицев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В.* Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
3. *Духопельников Д.В., Калашников Н.П., Марахтанов А.М., Марахтанов М.К., Ольчак А.С.* Кулоновский взрыв тонкой проволоки. – Ядерная физика и инжиниринг, 2010, т. 1, № 4, с. 339–346.
4. *Калашников Н.П., Матягина А.Н., Ольчак А.С., Ерохин К.М.* Физические свойства металлов в экстремальных состояниях. – М.: НИЯУ МИФИ, 2015 (передана в печать).

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫХ ФАЗ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$

А.А. Мирзорохимов^{*1}, Н.В. Мельникова¹, Н.И. Кадырова²,
А.Н. Бабушкин¹

¹ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

² Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: xomi4ev@mail.ru

При изучении материалов, обладающих гигантскими значениями диэлектрической проницаемости, одной из задач является поиск условий, при которых высокая диэлектрическая постоянная практически не зависит от частоты электрического поля в широкой области меняющихся внешних параметров. Цель работы – исследовать влияние внешних воздействий (температуры, частоты электрического поля, высоких давлений) на электрические свойства перовскитоподобных фаз высокого давления $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$, полученных путем замещения титана ванадием в материале $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$, который обладает кубической кристаллической структурой и обладает гигантской диэлектрической проницаемостью ($\sim 10^4$ – 10^5) [1].

Новые материалы $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$, $x = 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5$, синтезированы при высоких давлениях и температурах ($P \sim 10$ ГПа, $T \sim 1000^\circ \text{C}$, $t \sim 10$ – 15 мин.) в тороидальной камере высокого давления. Условия и аппаратура для термобарического

синтеза подробно описаны в работах [2, 3]. Рентгеноструктурные исследования (Shimadzu XDR-7000, CuK_α -излучение) показали, что все полученные фазы кристаллизуются в кубической симметрии и имеют перовскитоподобную структуру. Параметр решетки уменьшается при последовательном замещении титана ванадием.

Электрические свойства оксидов исследованы методом импедансной спектроскопии в диапазоне частот от 1 Гц до 30 МГц (Solartron 1260А) при температуре от 300 К до 600 К. Увеличение содержания ванадия в материалах приводит к уменьшению энергии активации электропроводности, росту электропроводности, которая не зависит от частоты в интервале 100 Гц – 1 МГц, сохранению высоких значений диэлектрической проницаемости, которая практически не меняется в частотном интервале 10^3 – 10^7 Гц (рис. 1).

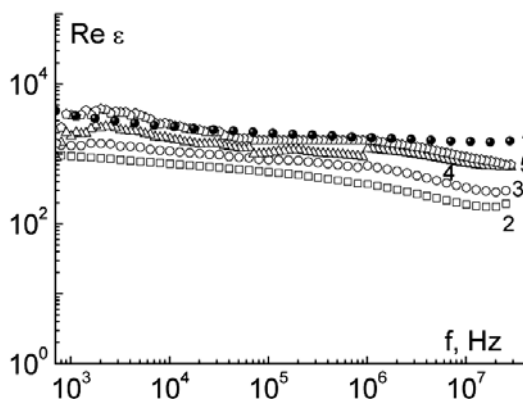


Рисунок 1. Частотные зависимости вещественной части комплексной диэлектрической проницаемости образцов $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$: 1 – $x=0$; 2 – $x=0,1$; 3 – $x=0,2$; 4 – $x=0,3$; 5 – $x=0,5$.

Исследования влияния высоких давлений (10–30 ГПа), больших, чем применяемых при синтезе материалов, на электрические свойства, проводили в камере высокого давления (КВД) с алмазными наковальнями из искусственных алмазов типа «карбонадо», которые хорошо проводят электрический ток, что позволяет исследовать электрические свойства образцов, помещенных в КВД. Метод оценки давлений и градуировки КВД подробно описан в работах [4, 5]. На рисунке 2 представлены годографы импеданса для материала $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$, $x=0,1$, при фиксированных давлениях из области 10–30 ГПа. Установлено, что с увеличением давления сопротивление материалов уменьшается, и логарифм сопротивления – почти линейная функция от давления в исследованном барическом интервале. После последующего за увеличением уменьшения давления электросопротивление материалов не возвращается

к начальному значению.

Предварительные оценки влияния давления на величину диэлектрической проницаемости, оцененной из ёмкости ячейки с образцом, указывают на высокие её значения ($\sim 10^3$) в исследованной области давлений.

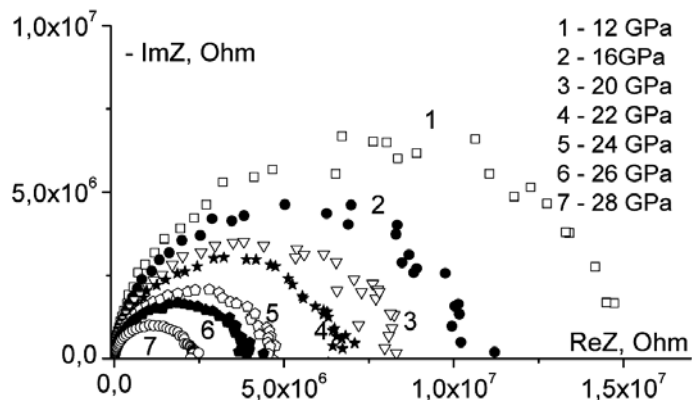


Рисунок 2. Годографы импеданса $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$, $x=0,1$, при указанных давлениях (увеличение давления, комнатная температура).

Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 13-02-00633 и №15-03-00868.

Литература

1. M. A. Subramanian, D. Li, N. Duan, B.A. Reisner, A.W. Sleight. J. Solid State Chem. **151**, 737 (2000).
2. N.I. Kadyrova, Yu.G. Zaynulin, V.L. Volkov, et al., Russian Journal of Inorganic Chemistry, **53**, 1542 (2008).
3. Н. И. Кадырова, Ю. Г. Зайнулин, Н. В. Мельникова, И. С. Устинова, И.Г. Григоров. Влияние термобарической обработки на структуру и свойства $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$. Известия РАН. Серия физическая. 2014. Т. 78, № 8, С. 946-949.
4. A.N. Babushkin, Electrical conductivity and thermal EMF of CsI at high pressures, High Press. Res. **6** (1992), P. 349–356.
5. Babushkin A.N., Pilipenko G.I., Gavrilov F.F. The Electrical Conductivity and Thermal Electromotive Force of Lithium Hydride and Lithium Deuteride at 20–50 GPa. J.Phys.: Condens. Matter. **5** (1993), P. 8659-8664.

ОПИСАНИЕ БАРИОННОГО И ЛЕПТОННОГО СЕКТОРОВ В 8-СПИНОРНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

В.И. Молотков, Ю.П. Рыбаков

Российский университет дружбы народов; e-mail: molotvi@gmail.com

Модель Т.Х.Р. Скирма (1954 г.) описывает внутреннюю структуру барионов и легких ядер, используя в качестве топологического заряда $Q = \text{deg}(S^3 \rightarrow S^2)$ барионное число B . Оно служит генератором гомотопической группы $\pi_3(S^3) = Z$. Аналогично модель Фаддеева (1972 г.), описывающая лептоны, использует индекс Хопфа Q_H в качестве генератора гомотопической группы $\pi_3(S^2) = Z$.

Объединение этих двух подходов позволяет рассматривать лептоны и барионы как секторы в общей 8-спинорной модели. Для этого используется специальное 8-спинорное тождество Бриоски [1]:

$$j^\mu j_\mu - \tilde{j}^\mu \tilde{j}_\mu = s^2 + p^2 + \vec{v}^2 + \vec{a}^2.$$

В этом тождестве содержатся следующие квадратичные спинорные величины:

$$s = \bar{\psi}\psi, \quad p = i\bar{\psi}\gamma_s\psi, \quad \vec{v} = \bar{\psi}\lambda\psi, \quad \vec{a} = i\bar{\psi}\gamma_s\lambda\psi, \quad j_\mu = \bar{\psi}\gamma_\mu\psi, \quad \tilde{j}_\mu = \bar{\psi}\gamma_\mu\gamma_s\psi,$$

где $\psi = \text{col}(\varphi, \chi, \xi, \theta)$ – 8 спинор, $\gamma_i = I_2 \otimes \sigma_i \otimes I_2$ – матрицы Дирака в представлении Вейля, $\lambda_i = \sigma_i \otimes I_4$.

В спинорном пространстве обнаружены группы симметрий, сохраняющие величины $s^2 + a_1^2 + a_3^2 \neq 0$ и $s^2 + p^2 + a_1^2 + a_2^2 \neq 0$. Эти инварианты образуют S^2 и S^3 многообразия, что соответствует лептонному и барионному сектору. Для этих многообразий построено общее вакуумное состояние $\psi = \text{col}(iC, iC, C, C)$, $C \in \mathbb{C}$.

Литература

1. *Rybakov Y.P.* Topological solitons in 8-spinor Mie electrodynamics. Physics of Atomic Nuclei, 76 (10), pp. 1284-1288, 2013.
2. *Молотков В.И.* Структура нелинейной спинорной модели элементарных частиц. Физическое образование в вузах, 2014.

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ДОМЕННЫХ СТЕНОК В МОНОКРИСТАЛЛАХ НИОБАТА ЛИТИЯ С НЕОДНОРОДНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

И.С. Палицын, Д.О. Аликин, В.И. Пряхина, С.А. Негашев, В.Я. Шур

Лаборатория сегнетоэлектриков, Институт естественных наук,
Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Ленина ул., д. 51;
e-mail: LHGVB78@mail.ru

Контролируемое создание в сегнетоэлектрических монокристаллах доменной структуры с заряженными доменными стенками (ЗДС) позволяет значительно улучшать их пьезоэлектрические и диэлектрические свойства, что открывает возможности для создания широкого класса электромеханических устройств, таких, как сверхточные актюаторы, работающие в широком температурном диапазоне.

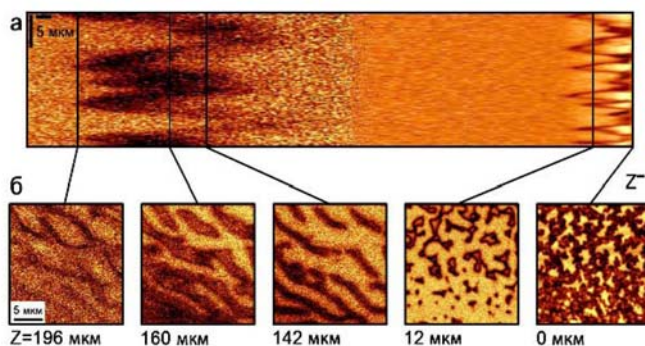


Рисунок 1. Визуализация методом конфокальной микроскопии комбинационного рассеяния ЗДС, локализованных в объеме монокристалла.

Представленная научно-исследовательская работа посвящена исследованию влияния неоднородной модификации проводимости, создаваемой высокотемпературным отжигом в вакууме, на процесс формирования ЗДС. Показано, что неоднородная проводимость приводит к аномальной кинетике доменной структуры, сопровождающейся изотропным ростом областей с ЗДС. Впервые продемонстрировано внутри-объемное переключение поляризации (рисунок 1), в результате которого ЗДС локализуются и стабилизируются в глубине кристалла. Выделены и рассмотрены в рамках кинетического подхода стадии роста доменной структуры. Показано, что контролируемое изменение длительности и температуры отжига позволяет управлять апертурой ЗДС и их положением в объеме кристаллов.

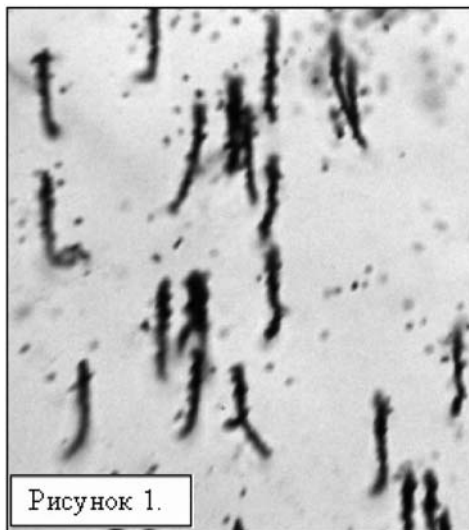
ОБЛУЧЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

М.Х. Самадов¹, С.С. Аликулов¹, Р.Н. Бекмирзаев¹, П.И. Зарубин²,
К.З. Маматкулов^{1,2}

¹ДжГПИ им. А.Кадыри, г. Джизак, Узбекистан

²ОИЯИ, г. Дубна, Россия; e-mail: kahramon@lhe.jinr.ru

Обладая превосходной чувствительностью и пространственным разрешением, ядерная эмульсия (ЯЭ) сохраняет позиции универсального и недорогого детектора для обзорных и поисковых исследований в физике микромира. Использование этой классической методики на пучках современных ускорителей и реакторов оказывается весьма продуктивным. В настоящее время возникает новый круг задач калибровки пробегов тяжелых ионов в ЯЭ по проекту БЕККЕРЕЛЬ[1]. Их решение расширит методическую основу для исследования методом ЯЭ новых аспектов физики деления тяжелых ядер. ЯЭ была облучена ионами $^{86}\text{Kr}^{+17}$ и $^{124}\text{Xe}^{+26}$, ускоренными до энергии около 1.2 А МэВ на циклотроне ИЦ-100 Лаборатории ядерных реакций имени Г.Н. Флерова, ОИЯИ. Эмульсионные слои устанавливались с наклоном 45° к оси пучка, что обеспечило наблюдение остановок ионов.



Измерено длины следов ионов в ЯЭ. Средние длины следов без рассеяния составляют для ионов Кг 14.3 ± 0.15 мкм (RMS 0.9 мкм), а для ионов Хе – 17.5 ± 0.1 мкм (RMS 1.0 мкм), что близко к значениям, рассчитанным по модели SRIM[2], для Кг 18.5 ± 1.3 мкм (RMS 1.3 мкм) и для Хе – 20.1 ± 2.2 мкм (RMS 1.3 мкм).

Многие из первичных треков завершаются искривлениями и «вилками» (рис. 1.), являющимися результатами рассеяния на ядрах, составляющих ЯЭ. На основе детальных координатных измерений «вилкок» предполагается идентифицировать наблюдаемые ядра отдачи и расширить исследование энергетического разрешения до предельно низких значений энергии. Тем самым может быть восстановлена кинематика рассеяния, и разрешение ЯЭ подвергнуто новой проверке. Этот аспект важен для будущей калибровки ЯЭ с субмикронным разрешением для поиска частиц темной материи.

Литература

1. <http://becquerel.jinr.ru/>
2. <http://srim.org/>

НОВЫЕ МЕТОДЫ КОНТАКТНОЙ И ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ

А.С. Мустафаев, А.А. Страхова, А.Ю. Грабовский

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»
199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия В.О., д.2;
e-mail: rectorat@spmi.ru

Фундаментальные исследования и разработки в области плазменной энергетики являются одним из важнейших направлений современной науки. Широкое внедрение приборов плазменной энергетики в промышленность все еще сдерживается рядом проблем, существенно затрудняющих теоретические и экспериментальные исследования пучковой плазмы: короткие разрядные промежутки, сильная неравновесность и анизотропия ФРЭС, многообразие нелинейных эффектов [1, 2], и т.д.

В представленной работе обсуждаются последние результаты, полученные авторами в области разработки методов диагностики сильнонеравновесной анизотропной плазмы с поверхностной и объемной ионизацией.

Первое направление – зондовые методы. Нами разработан метод плоского одностороннего зонда, основанный на разложении функции распределения электронов по скоростям (ФРЭС) в ряды по полиномам Лежандра. Показано, что измерения плоским зондом, выполненные под разными углами относительно оси разряда, позволяют определить полную ФРЭС в плазме с произвольной степенью анизотропии.

Продемонстрирована принципиальная невозможность восстановления полной ФРЭС с помощью цилиндрических зондов. Таким образом, традиционный способ определения f_1 является экспериментальным заблуждением, т.к. с помощью цилиндрического зонда могут быть определены только чётные компоненты ФРЭС f_{2r} . В работе представлен метод определения нечетных компонент ФРЭС путём решения системы кинетических уравнений Больцмана, связывающих между собой четные и нечетные компоненты (f_0, f_1) ; (f_0, f_1, f_2) и т.д.

Второе направление – метод магнитной диагностики, реализованный в кнудсеновском цезий-бариевом диоде с поверхностной ионизацией атомов (КДПИ) и основанный на измерении магнитных характеристик КДПИ в поперечном магнитном поле. В основу метода положено исследование зависимости относительного ослабления электронного тока насыщения в магнитном поле. В поперечном магнитном поле электроны движутся по криволинейным траекториям с ларморовским радиусом кривизны. С ростом напряженности поля ларморовский радиус становится меньше межэлектродного зазора и часть электронов, не достигнув анода, возвращается на катод. Это приводит к уменьшению анодного тока электронов. Под действием поля происходит пространственное перераспределение концентрации электронов, что приводит к изменению распределения потенциала в межэлектродном зазоре и последующему изменению траекторий движения электронов.

В рассмотренных условиях поведение электронов описывается самосогласованной системой стационарных кинетических уравнений Власова с учетом внешнего магнитного поля и уравнением Пуассона. В результате решения этой системы построены магнитные характеристики для различных степеней компенсации, учитывающие конечность ширины приэлектродных областей, неоднородность катода по работе выхода и поверхностный коэффициент отражения.

Экспериментально определены размеры приэлектродных областей, степень компенсации, потенциал и концентрация плазмы, направленная скорость электронов в плазме, работа выхода катода, эффективный коэффициент отражения. Измерены коэффициенты отражения и эмиссионная неоднородность поверхности для поликристаллического и ряда монокристаллических вольфрамовых катодов. Разработанный метод применен для контроля эмиссионных параметров термокатодов в плазменных преобразователях при температурах выше 2000 К и уровне электронной эмиссии порядка 10^2 А/см².

Третье направление – развитие метода неконтактной диагностики удаленных плазменных объектов, являющегося комбинацией метода плоского одностороннего зонда и магнитно-поляризационной методики Ханле [3]. Измерены коэффициенты анизотропной ФРЭ, сечение выстраивания полных угловых

моментов возбужденных атомов гелия электронным ударом и степень анизотропии электронного давления. Предложенный метод позволяет осуществлять прямое измерение функции распределения электронов в условиях минимума априорной информации о степени ее анизотропии в удаленных плазменных объектах.

Литература

1. *Цытович В.Н.* Нелинейные эффекты в плазме. М.: Наука, 1967, 288 с.
2. *Чураев Р.С., Агапов А.В.* Трехмерная квазилинейная релаксация электронного пучка в плазме // Физика плазмы. 1980. Т. 6. В. 2. С. 422-429.
3. *Казанцев С.А., Мустафаев А.С., Мезенцев А.П. и др.* Деполяризация заряженными частицами состояния $4'D_2$ гелия в пучково-плазменном разряде // Оптика и спектроскопия. 1994. Т. 76. № 6. С. 909-918.

ФОТО И ТЕРМОИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ СИЛЕНИТОВ

Е.С. Худякова, С.М. Шандаров, М.Г. Кистенева, В.Г. Дю,
А.С. Акрестина

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
(ТУСУР), 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 40; e-mail: lenoliya@rambler.ru

Кристаллы силленитов $Bi_{12}MO_{20}$ ($M = Ge, Si, Ti$), проявляющие хорошие фоторефрактивные свойства и сравнительно высокое быстродействие, используются в динамической голографии и её приложениях в качестве реверсивной среды.

В данной работе представлены результаты комплексных исследований оптического поглощения и его наведенных изменений в спектральном диапазоне 400 – 1000 нм, а также проведен их сравнительный анализ для легированных кристаллов $Bi_{12}SiO_{20}$ и $Bi_{12}GeO_{20}$ и для легированного алюминием кристалла $Bi_{12}TiO_{20}:Al$. Изменения в поглощении наблюдались как после отжига в воздушной атмосфере при температурах от 200 до 690 °С, так и при лазерной засветке с длинами волн 405, 532, 633, 655, 871 и 1064 нм. Для исследованных образцов в экспериментах фиксировались состояния с минимальными и максимальными значениями коэффициентов поглощения в спектральной области от 500 до 1000 нм и релаксация к некоторым промежуточным состояниям. Наблюдаемые при этом спектральные зависимости аппроксимировались в рамках модели примесного поглощения, учитывающей вклад в него как процессов фотовозбуждения электронов в зону проводимости

с глубоких донорных центров [1] и внутрицентровых переходов [2], так и краевого поглощения, подчиняющегося правилу Урбаха [3].

Полученные результаты сопоставлены с данными экспериментов по динамике изменений в поглощении, в которых использовалось по два пучка с различными длинами волн, один из которых играл роль индуцирующего, а другой – тестирующего излучения.

Работа выполнена в рамках задания Минобрнауки РФ № 2014/225 (проект № 2491) и НИР по проектной части госзадания № 3.878.2014/ИК.

Литература

1. Толстик А.Л., Матусевич А.Ю., Кистенева М.Г. и др. // Квантовая электроника. – 2007. – Т. 37, № 11. – С. 1027–1032.
2. Kisteneva M.G., Akrestina A.S., Shandarov S.M., Smirnov S.V. // J. Journal of Holography and Speckle. – 2009. – V.5. – 1-6.
3. Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников. М.: Наука, 1977, 368 с.

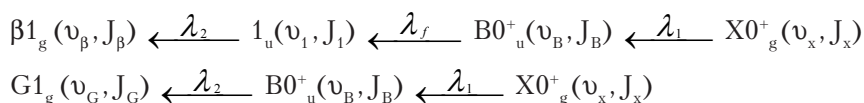
СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛАБО СВЯЗАННЫХ СОСТОЯНИЙ $1_u(ab)$ МОЛЕКУЛЫ I_2

И.Н. Черепанов, А.М. Правилев

Санкт-Петербургский государственный университет; e-mail: cherepanov.igorfz@yandex.ru

Молекула I_2 имеет 23 валентных состояния, коррелирующих с тремя пределами диссоциации: $(^2P_{3/2}) + I(^2P_{3/2}) - (aa)$, $I(^2P_{3/2}) + I(^2P_{1/2}) - (ab)$, $I(^2P_{1/2}) + I(^2P_{1/2}) - (bb)$, и 20 ионно-парных (ИП) состояний, коррелирующих с пределами $\Gamma(^1S) + \Gamma(^3P_J)$, $J = 2, 1, 0$, 1D , 1S . В настоящее время некоторые валентные состояния очень плохо исследованы экспериментально. Таким образом, целью данной работы является определение спектроскопических характеристик слабо связанных состояний $(3,4)1_u(ab)$.

Работа основана на анализе спектров люминесценции из ИП состояний $\beta 1_g$ и $G 1_g$. Чтобы заселить выбранные ровибронные уровни ИП состояний, мы успешно используем двух- и трехступенчатые лазерные схемы возбуждения:



Мы измерили спектры люминесценции из $\nu_{\beta} = 7, 9, 17, 22, 25$ и $\nu_{\alpha} = 6, 9$ колебательных уровней ИП состояний $\beta 1_g$ и $G 1_g$. Как результат, были получены коэффициенты Данхема для состояния $(3)1_u(ab)$. Кроме того, построена кривая потенциальной энергии для $(3)1_u(ab)$ и отталкивательная ветвь потенциала для состояния $(4)1_u(ab)$. Так же мы вычислили функции дипольных моментов переходов $I_2(\beta 1_g, G 1_g \rightarrow 1_u(ab))$. Наконец, было обнаружено, что полученные данные находятся в хорошем согласии с результатами теоретических расчетов [1]. Проведенные исследования стали частью работы, представленной в статье [2].

Интерес к слабо связанным состояниям I_2 объясняется от части тем, что в последних работах [3] (и ссылки в ней) был обнаружен довольно интересный эффект сверхтонкого взаимодействия между состояниями третьего предела диссоциации, который пока что не удается описать.

Литература

1. *de Jong W.A., Visscher L., Nieuwpoort W.S.* // J. Chem. Phys., v. 107, p. 9047 (1997).
2. *Baturo V.V., Cherepanov I.N., Lukashov S.S., Poretsky S.A., Pravilov A.M.* // J. Phys. B (2015) – принята для публикации.
3. *Akopyan M.E., Baturo V.V., Lukashov S.S., Mikheev L.D., Poretsky S.A., Vasyutinskii O.S., Pravilov A.M.* // J. Phys. B., v. 48, p. 25102 (2015).

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ ВОДЫ

Е.С. Шайкомалова, Ю.Н. Журавлев

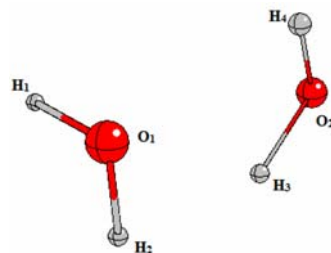
Кемеровский государственный университет; e-mail: l6930@mail.ru

Вода – вещество уникальное по многим причинам, притягивающее к себе и по сей день большое научное внимание [1, 2]. Интерес вызывают ее свойства и структура. Для изучения механизмов межмолекулярного взаимодействия исследовалось строение воды в парообразном (димер, тример, тетрамер) и в твердом (кристаллический лед) состояниях. Используется метод Хартри–Фока, функционал плотности DFT в форме гибридного функционала B3LYP, различные базисные наборы локализованных функций и программный пакет «Crystal09» [3, 4].

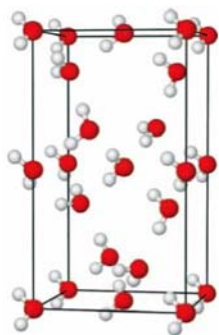
Вода – бинарное соединение, состоит из 1 молекулы кислорода и 2 молекул водорода. Химическая формула H_2O . Связь между атомами ковалентная посредством общей электронной пары. Поскольку две несвязные пары располагаются близко к кислороду, отталкивание двух пар ковалентных связей возрастает, что приводит к искажению тетраэдрической геометрии. [5] При этом, исходя из проведенных расчетов, длина связи в молекуле равна 0,96 А, валентный угол $104,13^\circ$, а расстояние между атомами водорода 1,52 А. Такое наименьшее среднеквадратичное отклонение 0,4% относительно научных данных (0,96 А, $104,45^\circ$ и 1,515 А соответственно [5]) по результатам расчетов дают базисы H_3-1p1G_gatti_1994 и O_6-2111d1G_2012. Их будем использовать и при дальнейших вычислениях. Рассчитанное значение заряда кислорода $q_o = -0,551$ Кл, водорода $q_H = 0,725$ Кл.

Молекула воды представляет собой диполь с положительным и отрицательным полюсами, что приводит к притягиванию двух расположенных рядом молекул и образованию водородной связи. Как видно из рисунка, водородная связь больше обычной связи О-Н и, следовательно, слабее [1]. Так как $\angle O_1H_3O_2$ меньше 180° , то очевидно нарушение линейности водородной связи. Касательно остальных геометрических параметров, структура димера незначительно отличается от свободной молекулы. Углы: $\angle O_1H_3O_2 = 161,3^\circ$, $\angle HO_1H_2 = 104,2^\circ$; длина связи: $r(O_1...H_3) = 1,89$ А, $r(H_3-O_2) = 0,97$ А; энергия диссоциации димера: $E = E_{\text{дим.}} - 2 * E_{\text{мол.}} = -0,014$ (AU/CELL) [5].

В таких структурах, как тример и тетрамер, также нарушается линейность водородной связи, но остальные параметры близки к значениям свободной



молекулы. В тримере углы: $\angle O_1H_3O_2 = 172,4^\circ$, $\angle HO_1H_2 = 104,7^\circ$; длина связи: $r(O_1...H_3) = 1,68\text{Å}$, $r(H_3-O_2) = 0,99\text{Å}$. В тетрамере углы: $\angle O_1H_3O_2 = 172,5^\circ$, $\angle HO_1H_2 = 104,7^\circ$; длина связи: $r(O_1...H_3) = 1,68\text{Å}$, $r(H_3-O_4) = 0,99\text{Å}$.



В настоящее время известны три аморфных разновидности и 15 кристаллических модификаций льда. Лёд VIII – тетрагональная кристаллическая форма льда, полученная охлаждением льда VII ниже 5°C (278K). Его структура более упорядочена, чем у льда VII, т.к. атомы водорода занимают фиксированные положения. В результате оптимизации геометрии получены постоянные решетки: $a = 4,378$ ($4,338$), $b = 7,625$ ($7,554$), $c = 7,049$ ($7,094$). В скобках приведены экспериментальные значения. В кристалле углы: $\angle O_1H_3O_2 = 179,3^\circ$, $\angle HO_1H_2 = 109,7^\circ$; длина связи: $r(H_3-O_2) = 0,98\text{Å}$, $r(O_1...H_3) = 1,83\text{Å}$ [2].

В результате проведенных исследований геометрии установлена структура димера, тримера, полимера и кристалла воды. Показано, что для димера, тримера, тетрамера и кристалла длина связи ОН в каждой молекуле изменяется на $+0,01/+0,02/0/-0,1\text{Å}$ соответственно, расстояние между атомом Н и О соседних молекул изменяется на $-0,21/0/0/+0,15\text{Å}$, а валентный $\angle HO_1H_2$ изменяется на $0,1/0,5/0/2^\circ$. Таким образом, было установлено, что при использовании потенциала B3LYP и базисов H_3-1p1G_gatti_1994 и O_6-2111d1G_2012, полученные валентные углы, длины связей и энергия диссоциации соответствуют литературным данным с незначительным отклонением.

Литература

1. T. Földes, T. Vanfleteren, and M. Herman. Communication: A rotationally resolved (2OH) overtone band in the water dimer (H₂O)₂. The JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS 141, 111103(2014).
2. D. Quigley, D. Alfe, and B. Slater. Communication: On the stability of ice 0, ice i, and I h. The JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS 141, 161102 (2014).
3. Программный пакет «Crystal» <http://www.crystal.unito.it/index.php> (осень 2014 года).
4. CRYSTAL Basis Sets Library [Электронный ресурс] URL: <http://www.crystal.unito.it/basis-sets.php> (декабрь 2014 года).
5. Ю.М.Третьяков. Вода. Структура и теплофизические параметры. – М.: – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2013. – 552 с.

ИНДЕФИКАЦИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ФАЗЫ В ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТАХ МЕТОДОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

И.В. Шатихина¹, Р.А. Кастро¹, Г.И. Грабко²

¹ РГПУ им. А.И. Герцена, Россия, г. Санкт-Петербург; e-mail: shatihina0@mail.ru

² Забайкальский государственный университет, Россия, г. Чита

В последние годы, повышенное внимание уделяется разработке новых композиционных полимерных материалов (КПМ), которые находят широкое применение в опто- и нанoeлектронике. В связи с этим, актуальным является вопрос получения информации об электрофизических свойствах самой полимерной матрицы, и закономерностях изменения параметров диэлектрической релаксации при введении в нее частиц наполнителя неорганического. Целью данной работы являлось установление закономерностей изменения свойств КПМ на основе трифторхлорэтилена (фторопласт-32Л) при введении активного наполнителя – сегнетоэлектрика методом диэлектрической спектроскопии.

В качестве объекта исследования был выбран трифторхлорэтилена (фторопласт-32Л), а в качестве наполнителя использовался порошкообразный титанат бария. Полимерные композиции получали смешением на лабораторных микровальцах с регулируемым электрообогревом. Образцы изготавливали в виде пластин толщиной 0,1–1,2 мм прессованием на гидравлическом прессе в соответствии с ГОСТ 12019-66. Измерение диэлектрических спектров проводилось на спектрометре «Concept 81» (NOVOCONTROL Technologies GmbH & Co).

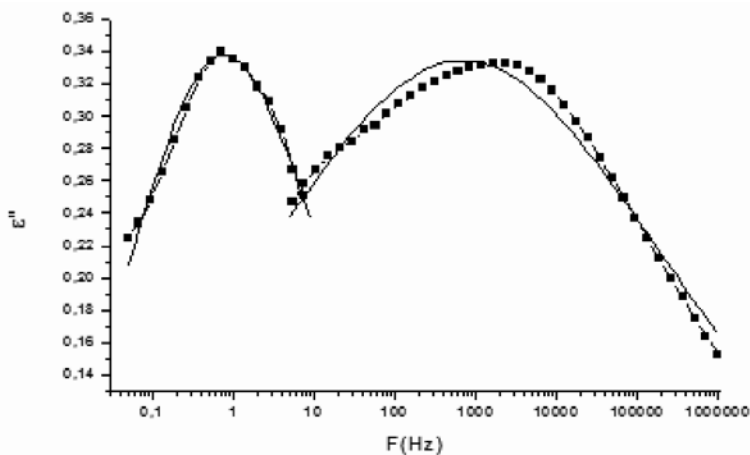


Рисунок 1. Частотная зависимость фактора потерь ϵ'' образцов ПКМ при $T = 313$ К.

Обнаружен релаксационный процесс в области температур от 273 К до 323 К. При температуре 313 К, появляется второй релаксационный максимум (рис. 1). С учетом того, что температура стеклования равна 30°С, то появление второго максимума, скорее всего, связано с началом кристаллизации полимерной матрицы. Определены параметры, характеризующие два релаксационных процесса.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения госзадания № 2014/376 (базовая часть).

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ И ТРИГГИРОВАНИЯ ДЛЯ КООРДИНАТНО-ТРЕКОВОГО ДЕТЕКТОРА ДЕКОР

К.О. Юрин, К.Г. Компаниец, В.В. Шутенко

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
115409, г. Москва, Каширское шоссе, 31; email: KOYurin@mephi.ru

Координатно-трековый детектор ДЕКОР [1] является крупномасштабной экспериментальной установкой, предназначенной для изучения космического излучения на поверхности Земли при больших зенитных углах. Такие исследования позволяют изучать пространственно-энергетические характеристики групп генетически связанных частиц в широком интервале первичной энергий, проводя анализ их зависимости от множественности и зенитного угла.

Детектор состоит из 64 базовых модулей, объединенных в восемь сборок-супермодулей по восемь слоев каждая. Каждый модуль является детектирующим слоем, состоящим из 16 камер стримерных трубок, находящихся в вертикальной плоскости друг над другом, и системы внешних пластин для считывания двух координат (256X+256Y каналов с шагом 1.0 и 1.2 см). Рабочая площадь модуля составляет 2.7×3.1 м². Супермодули расположены в галерее 2-го этажа здания установки НЕВОД вокруг черенковского водного калориметра.

Для обеспечения регистрации потока вторичных космических лучей с высокой эффективностью необходима автоматизированная регистрирующая система, позволяющая отбирать и передавать экспериментальные данные в режиме реального времени. Действующая система сбора данных и триггирования координатно-трекового детектора ДЕКОР в настоящее время морально и физически устарела.

Разработанная аппаратная и программная часть новой системы устраняет проблему несовместимости с современными интерфейсами на аппаратном и программном уровне, а также увеличит надежность и скорость работы всей установки ДЕКОР. Все печатные платы выполнены в соответствии с требованиями к современным

платам, в конструктиве Евромеханика 6U. В работе приводится структурная схема новой системы, сравнение старой системы с новой. Основной частью разработанной системы является контроллер сбора данных и отбора событий, выполненный на базе ПЛИС компании ALTERA [2]. Обсуждаются конструктивные и функциональные особенности нового контроллера, результаты тестирования и настройки нескольких образцов. Разработанная система предназначена для использования в экспериментальном комплексе НЕВОД [3].

Работа выполнена на уникальной научной установке ЭК НЕВОД при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (проект RFMEFI59114X0002) и гранта ведущей научной школы НШ-4930.2014.2.

Литература

1. Н.С. Барбашина, А.А. Езубченко, Р.П. Кокоулин, К.Г. Компаниец, А.А. Коновалов, А.А. Петрухин, Д.В. Чернов, В.В. Шутенко, Э.Е. Янсон. “Координатный детектор для исследования горизонтального потока космических лучей”, “Приборы и техника эксперимента”, № 6, 2000, с. 20–24.
2. Сайт компании Altera // <http://www.altera.com/>
3. Сайт НОЦ НЕВОД // <http://www.nevod.mephi.ru/>

ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА

Устные доклады

ФЕМТОСЕКУНДНАЯ ЗАПИСЬ СВЕТОВОДА С ДЕПРЕССИРОВАННОЙ ОБОЛОЧКОЙ В КВАРЦЕВОМ СТЕКЛЕ

М.А. Бухарин^{1,2}, Д.В. Худяков², С.К. Вартапетов²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²ООО «Оптосистемы», г. Москва; e-mail: Mikhail.Bukharin@phystech.edu

Оптические волноводы, созданные по технологии прямой фемтосекундной записи находят свое применение в активной лазерной и нелинейной оптике для повышения эффективности преобразующих элементов [1, 2]. Световоды с депрессированной оболочкой играют в этой области ключевую роль благодаря тому, что спектральные свойства материала в области жилы не изменяются под действием записывающего лазерного излучения.

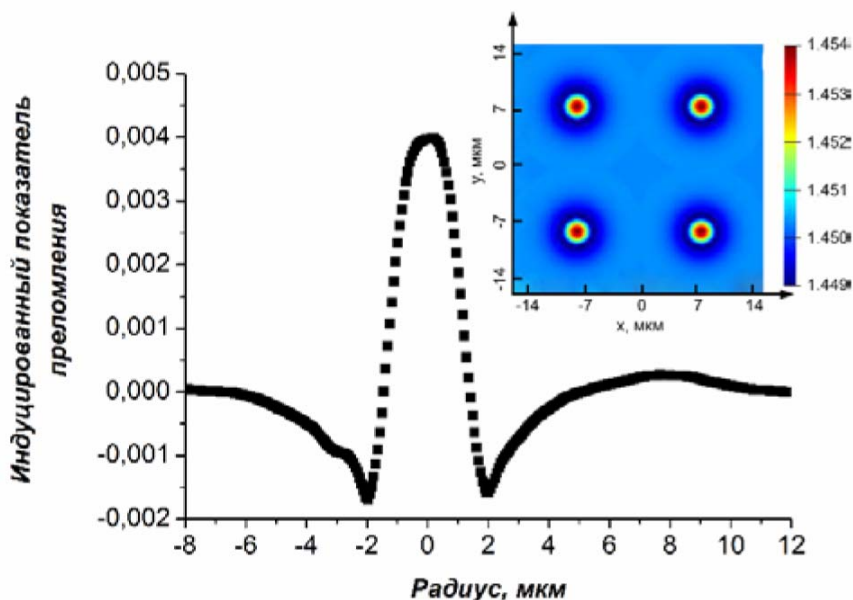


Рисунок 1. Профиль индуцированного показателя преломления и структура световода (на врезке).

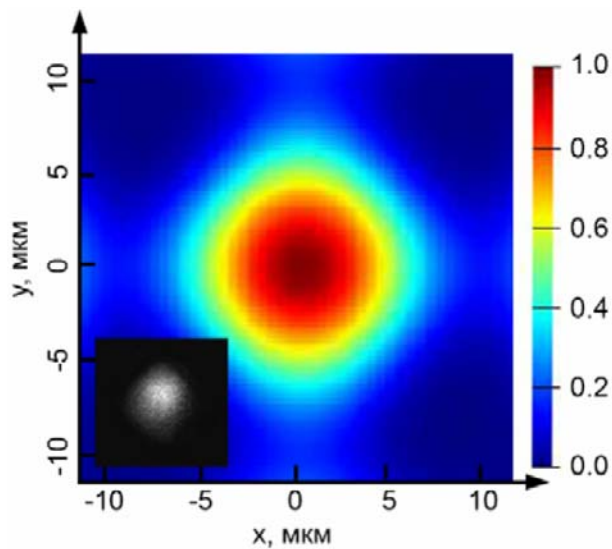


Рисунок 2. Профиль моды излучения ($\lambda=633$ нм) и ее фотография (на врезке).

В данной работе исследовалась модификация показателя преломления плавленого кварца под действием сфокусированных ($NA=0,5$) лазерных импульсов длительностью 360 фс и $\lambda=1040$ нм. При этом удалось достичь изменения показателя преломления $-2 \cdot 10^{-3}$ в периферийной области. На основе областей с пониженным показателем преломления была сформирована световедущая структура, изображенная на рис. 1. Полученный волновод обладал низкими потерями на распространение (0,18 дБ/см @ $\lambda=633$ нм), а мода излучения хорошо совпадала с численным расчетом (см. рис. 2). Новизна настоящей работы заключается в том, что благодаря использованию периферийных областей с пониженным показателем преломления в материалах типа кварцевого стекла впервые был получен волновод с депрессированной оболочкой и неизменными спектральными характеристиками.

Литература

1. *Xiao-Song Ma*, Nature Photonics, v. 8, p. 749-751 (2014).
2. *J. Burghoff, C. Grebing, S. Nolte, and A. Tunnermann*, Appl. Phys. Lett., v. 86, 081108 (2006).

АЗОТИРОВАНИЕ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ НА ВАКУУМНОЙ УСТАНОВКЕ ДЛЯ ДУГОВОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Н.А. Деров, Н.А. Смоланов

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева,
e-mail: smolanovna@yandex.ru

Азотирование в низкотемпературной плазме тлеющего разряда (ионное азотирование) стало одним из высокоэффективных способов диффузионного насыщения и повышения качества получаемых поверхностных слоев [1].

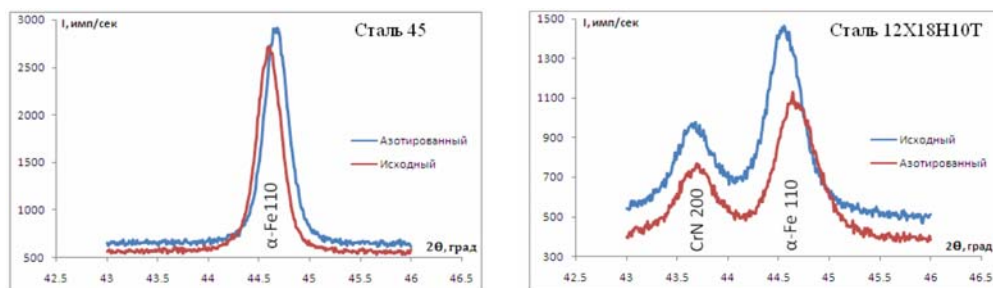


Рисунок 1. Участки рентгенограмм сталей до – и после азотирования.

В работе исследовалось влияние азотирования и последующего нанесения тонких пленок нитрида титана на структуру и свойства сталей различных классов. Модификация поверхности образцов производилась на модернизированной вакуумной установке ННВ-6И4, оснащенной электродуговым испарителем [2]. Изучалась микротвердость, фазовый состав (дифрактометр ДРОН-6) исходных образцов и после азотирования в течении 4 часов (потенциал подложки 400 В, давление азота 0,2–0,6 мбар). Установлено, что данный режим азотирования практически не изменил микротвердости указанных сталей, либо привел к ее уменьшению. Новых фаз в структуре поверхности сталей нет. Отмечены лишь незначительные изменения в кристаллической структуре (рис. 1).

Полученные результаты объясняются отпуском стали в процессе азотирования и нанесения покрытий TiN на поверхность образцов. Для получения более эффективного азотирования необходима подборка режимов и, особенно, состава газа.

Литература

1. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. и др. Материаловедение: Учебник для вузов – 7-е

изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005.

2. Л.Л. Колесник, К.М. Мусеев, Н.А. Смоланов*, А.В. Селезнёв. ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ТИПА ННВ-6. // Пленки и покрытия-2013: труды 11-й Международной конференции. 6 – 8 мая 2013 г. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013, с. 263-265.

ПОИСК НАПРАВЛЕНИЙ НУЛЕВОГО ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ

А.И. Замковская, Е.М. Максимова

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
295007 Россия, г. Симферополь, пр. Вернадского, 4; e-mail: lenamax112@rambler.ru

подавляющее большинство материалов расширяются во время нагрева, но, также существуют материалы, которые при нагревании сжимаются [1].

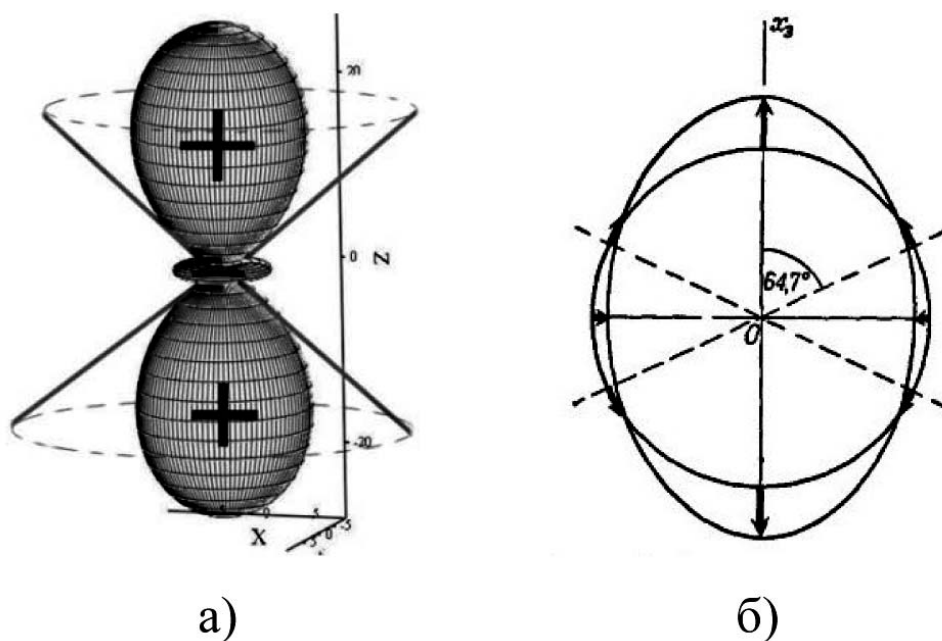


Рисунок 1. а) Указательная поверхность теплового расширения кристалла кальцита;
б) тепловое расширение сферы из кристалла кальцита.

В пакете прикладных программ MathCad были построены трехмерные указательные поверхности теплового расширения (радиус-векторы этих поверхностей

пропорциональны величине относительного удлинения кристалла в данном направлении при нагревании):

$$(\Delta l/l)_n = \sum \alpha_{ij} \cdot n_i \cdot n_j,$$

где α_{ij} – коэффициенты теплового расширения кристаллов, образующие тензор второго ранга; n_i, n_j – компоненты единичного вектора, определяющего произвольное направление в кристалле [2].

Для кристаллов с отрицательными коэффициентами теплового расширения указательные поверхности – это многополостные поверхности с положительными и отрицательными частями. Между этими областями существует конус «нулевого расширения», вдоль которого расположены направления кристаллической структуры, не подверженные воздействию температуры. Как, например, для кристалла кальцита, рис. 1.

Отметим, что вид конуса зависит от симметрии кристалла. Для кристалла кальцита (средняя категория симметрии) – это круговой конус.

Литература

1. Вустер У. Применение тензоров и теории групп для описания физических свойств кристаллов. Пер. – М.: Мир, 1977.
2. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. – М.: Наука, 1979.

РАЗРАБОТКА ТРЕХКООРДИНАТНОГО ГЕТЕРОДИННОГО ЛАЗЕРНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СКАНИРУЮЩИХ ЗОНДОВЫХ МИКРОСКОПОВ

Т.В. Казиева, А.П. Кузнецов, К.Л. Губский, В.Н. Решетов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
115409, Москва, Каширское шоссе, 31; e-mail: glizerogen@gmail.com

Достижение предельных возможностей в нанометрии связано с использованием высокоразрешающих методов сканирующей зондовой (туннельной, атомно-силовой) и растровой электронной микроскопии. При работе перечисленных микроскопов исследователи сталкиваются с проблемой неоднозначности соотношения между объектом измерения и получаемым изображением. Для решения данной проблемы необходимо создать суперпрецизионные системы нанопозиционирования как зонда, так и объекта и разработки высокоточных средств измерений их линейно-угловых перемещений в реальном масштабе времени с погрешностью менее 1 нм.

Оптимальным решением является оснащение зондовых микроскопов многоканальными лазерными интерферометрами для измерения перемещений сканера по всем трём декартовым осям и для измерения угловых искажений. Для этих целей нами был разработан трехкоординатный гетеродинный интерферометр в виде компактной встраиваемой в СЗМ системы. Интерферометр состоит из двух модулей: оптического блока, смонтированного на массивной плите, и электронного блока управления и обработки сигналов, вынесенного за пределы области термостатирования микроскопа. Габариты оптического блока позволяют внедрять его в различные СЗМ не изменяя геометрии основной конструкции.

Изучение метрологических характеристик интерферометра было проведено на СЗМ «НаноСкан-3Д» с применением трех эталонных структур в виде ступенек с периодом 3 мкм и высотой (20, 100 и 500 нм). Результаты измерений сравнивались с измерениями тех же экземпляров в РТВ (Германия) на метрологическом зондовом микроскопе. Для всех эталонных структур значения, полученные на «НаноСкан-3Д», попали в 95% доверительный интервал, указанный при калибровке в РТВ.

Метрологический сканирующий зондовый микроскоп с трехкоординатным лазерным интерферометром вошел в состав Государственного первичного специального эталона единицы длины в области измерений геометрических параметров шероховатости в диапазоне от 1 нм до 1000 нм (ВНИИМС).

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ПЕЧАТАЕМОЙ РЕЗИСТИВНОЙ ПАМЯТИ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

М.С. Котова¹, М.А. Дронов², Т.В. Дубинина², Д.Р. Хохлов³

¹ аспирант, МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, 119991, Ленинские горы, дом 1, стр. 2

² м.н.с., МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, 119991, Ленинские горы, дом 1, стр. 2

³ член-корр. РАН, профессор, МГУ им. М. В. Ломоносова; e-mail: marykot58@gmail.com

В настоящее время существует необходимость в разработке новых устройств памяти, которые могли бы превзойти по характеристикам уже имеющиеся типы запоминающих устройств. Кандидатом на новую технологию памяти является резистивная память. Резистивные переключения являются быстрыми, могут быть энергонезависимыми и многократно повторяющимися. Возможность создания резистивной памяти из органических материалов позволяет создавать устройства без использования высокотемпературных или высоковакуумных технологий. В работе представлены параметры работы запоминающей ячейки из растворимых органических материалов, нанесенных методами печати на гибкие полимерные подложки.

В работе исследовались растворимые производные фталоцианинов, композиционные материалы из фталоцианинов и полимерных диэлектрических материалов. В качестве контактов использовались коммерчески доступные серебряные чернила для печати, минимальное расстояние между контактами составило 50 мкм.

Резистивные переключения наблюдались как в чистых материалах, так и в их смесях. Было отмечено, что критическая напряженность электрического поля $E_{\text{крит}}$, требуемая для переключения образца из низкопроводящего в высокопроводящее состояние меньше для образцов из смеси полимера и малых молекул, чем в случае образцов из малых молекул, что может быть связано с большей однородностью нанесения слоя смеси. Также использование смеси является предпочтительным для уменьшения влияния окружающей среды на образцы.

Использование малых молекул позволило регулировать условия переключения внешним освещением. Было показано, что подсветка лазером с длиной волны в синем и зеленом диапазоне может уменьшить значение $E_{\text{крит}}$ более, чем в 4 раза.

Наиболее вероятными механизмами переключений являются формирование и разрыв проводящих каналов или накопление заряда внутри системы. Аппроксимация предпороговых явлений для образцов из олигомеров в координатах Шоттки и энергозависимость переключений свидетельствует о зарядовых механизмах. В случае композитных материалов высокая стабильность проводящего состояния и униполярность переключений лучше описывают модель проводящих каналов.

Работа поддержана грантами РФФИ № 14-02-31569, РФФИ № 14-03-31579.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ КОНВЕРСИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛАХ, ЗАПОЛНЕННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЛЮМИНОФОРАМИ

А.О. Литвинова, Л.С. Лепнев

ФИАН РАН; e-mail: litvinovaanechka@yandex.ru

Фотонные кристаллы являются актуальными материалами современных оптических исследований. Они бывают нескольких видов: одно-, дву- и трех- мерные, например глобулярные фотонные кристаллы (ГФК). Под ГФК мы определяем кристаллические структуры, диэлектрическая проницаемость которых изменяется с периодом, сравнимым с длиной волны электромагнитного излучения видимого

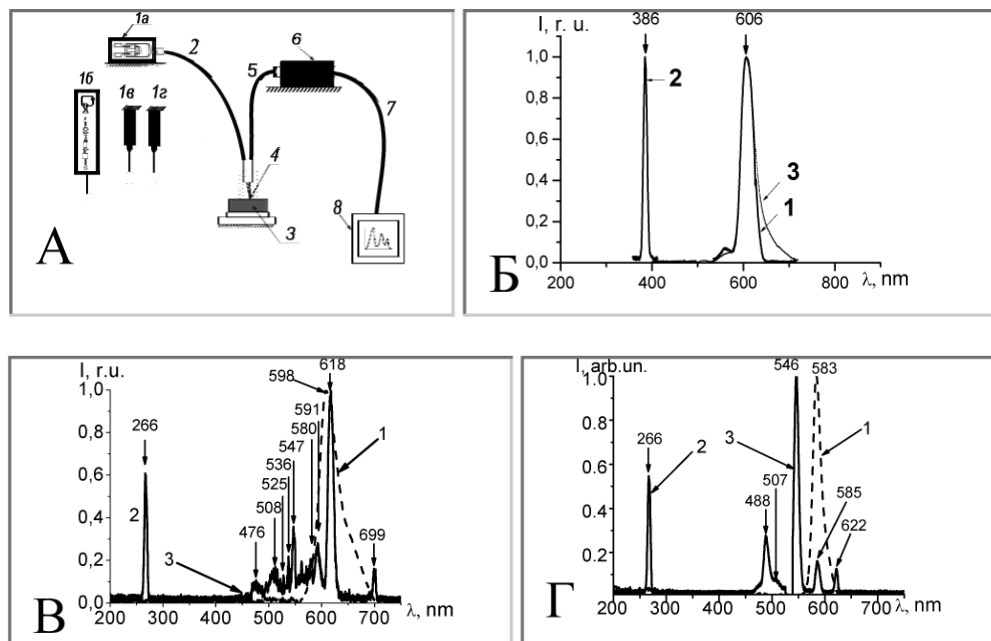


Рисунок 1. А. Схема экспериментальной установки: 1 – источник излучения (галогенная лампа, лазер 266, диоды 366, 382, 410 нм), 2, 5 – оптоволоконный световод, 3 – кювета с образцом, 4, 6 – миниспектрометр FSD-8, 7 – USB кабель, 8 – компьютер; Б. Спектр отражения от поверхности ГФК с источниками излучения галогеновой лампой (1) и диодом 386 нм (возб. 2) спектр 3; В-Г. Спектры отражения и фотолуминесценции (ФЛ) и заполненного Eu_2O_3 (В) и Tb_2O_3 (Г) ГФК: кривые 1 – спектры отражения от поверхности пустого ГФК, зарегистрированные при помощи галогенной лампы; кривые 2 – спектры излучения лазера с длиной волны генерации 266 нм; кривые 3 – спектры ФЛ от поверхности ГФК, поры которого заполнены Eu_2O_3 (В) и Tb_2O_3 (Г).

диапазона. Такие кристаллы состоят из плотноупакованных сфер, пространство между которыми заполнено редкоземельным люминофором (РЗЛ: Eu_2O_3 и Tb_2O_3). Явление конверсии исследуется, появление этого эффекта в комплексах ГФК и РЗЭ позволяет создать новый тип твердотельных активных сред с оптической накачкой и усовершенствование солнечного элемента. Целью представленного исследования является наблюдение и изучение down-конверсии лазерного излучения в области запрещенных зон (стоп – зон) ГФК [1–3].

Экспериментальная часть была проведена на представленной на рис. 1А установке.

На рис. 1Б-Г приведены спектры отражения от поверхности роста (111) ГФК и ФЛ. В области стоп-зоны ГФК наблюдается down-конверсия. Подобное явление обуславливается фотолюминесценцией глобул, усиленной в области стоп-зоны, увеличением плотности поверхностных состояний в этой области и трехпараметрическим рассеянием света. Таким образом, наблюдаемое явление может иметь широкую область применения, на пример, для создания новых типов солнечных элементов.

Работа выполнена совместно с профессором, д.ф.-м.н. Гореликом В.С.

Литература

1. Горелик В.С., Лепнев Л.С., Литвинова А.О. Конверсия электромагнитного излучения в глобулярных фотонных кристаллах SiO_2 при коротковолновом излучении // Неорганические материалы, 2014, Т. 50, № 10, с. 231–235.
2. Горелик В.С. Оптика глобулярных фотонных кристаллов // Квантовая электроника. 2007. Т. 34, № 5. С. 409–432.
3. Yan B., Wang Q.-M. Two luminescent molecular hybrids composed of bridged Eu(III)- diketone chelates covalently trapped in silica and titanate gels // Crystal Growth & Design, American chemical society, 2008, V. 8, № 5, P. 1484–1489 и др.

ПРОВОДИМОСТЬ ДВУСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Д.Н. Соколовский*, Я.Ю. Волкова, П.С. Зеленовский, А.Н. Бабушкин

Уральский Федеральный Университет, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

*E-mail: dmitry91sokol@gmail.com

Исследование связок углеродных нанотрубок при высоких давлениях представляет огромный интерес из-за множества перспектив применения нанотрубок для повышения механической прочности материалов [1,2].

На сегодняшний день, большой интерес представляют исследования проводимости двустенных углеродных нанотрубок (ДУНТ) при высоких давлениях. В данных структурах внешняя трубка защищает внутреннюю от химических и механических воздействий, в то время как внутренняя трубка является механической опорой для внешней [3].

В работе исследовалось электрическое сопротивление связок ДУНТ диаметром 4 нм при давлениях до 48 ГПа и комнатной температуре. Для создания высоких давлений использовалась камера высокого давления с наковальнями типа «закругленный конус-плоскость». Методика оценки давления и электрических измерений подробно описана в [4].

Рамановская спектроскопия образцов, подвергнутых обработке давлением 28 ГПа, показала двукратное возрастание D -пика с повышением давления, и исчезновение левого пика радиальной дыхательной моды (RBM) из спектров при достижении критического давления, что может быть связано с разрушением структуры ДУНТ. Наблюдаемые результаты могут быть подтверждением предположения о двухступенчатом механизме разрушения двустенных нанотрубок.

Работа выполнена при поддержке Правительства Свердловской области и РФФИ (грант 13-02_96039-р-урал) и программы Министерства образования и науки РФ.

Литература

1. J.-Y. Chen et al., Chemical Physics Letters, **479**, 91 (2009).
2. Я.Ю. Волкова, П.С. Зеленовский, Д.Н. Соколовский, А.Н. Бабушкин, Структурные переходы в одностенных углеродных нанотрубках при высоких давлениях, Известия РАН. Серия физическая, 2014, № 4, т. 78, 430-432.
3. X. Yang, G. Wu, J. Dong, Applied Physics Letters, **89**, 11 (2006).
4. A. N. Babushkin, High Press. Res. **6**, 349-356 (1992).

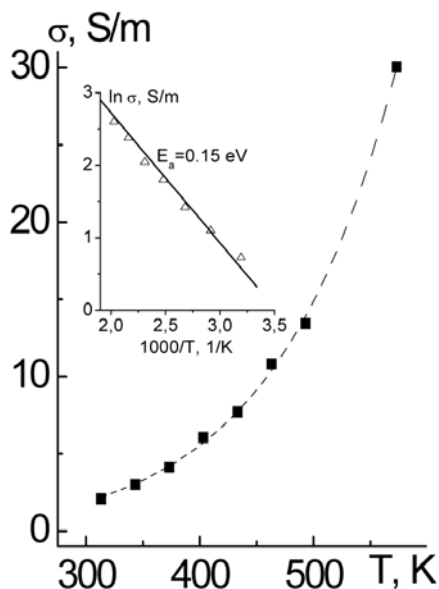
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$, СИНТЕЗИРОВАННЫХ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ

Е. Яковлева¹, Н.В. Мельникова¹, Т.И. Чупахина², Н.И. Кадырова²

¹Уральский федеральный университет, Институт Естественных Наук,
г. Екатеринбург, Россия

²Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: katrina.yakovleva@inbox.ru

Материалы $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ являются перспективными для элементов конструкций электрохимической и микроэлектронной техники благодаря наличию гигантской диэлектрической проницаемости и ее слабой зависимости от частоты приложенного электрического поля и температуры [1,2]. Цель работы – исследование электрических характеристик керамики $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$, синтезированной разными методами (твердофазным, с помощью золь-гель эффекта (СВС), термобарическим), в условиях постоянных и переменных электрических полей, установление наличия гигантской диэлектрической проницаемости этих соединений, анализ частотных и температурных зависимостей электрических параметров.



На рисунке представлена температурная зависимость удельной электропроводности материала $\text{La}_{1.875}\text{Sr}_{0.125}\text{NiO}_4$, полученного термобарическим методом. Установлено,

что вещественная часть диэлектрической проницаемости материалов $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$, полученных в термобарических условиях ($P=2,5$ ГПа, $T=900$ С), имеет наибольшее значение ($\sim 10^5$), по сравнению с материалами, полученными другими двумя указанными выше методами ($\sim 10^2-10^4$), и мало меняется с частотой в области 10^2-10^7 Гц. Анализ связи структурных параметров материалов с их диэлектрическими свойствами показал, что диэлектрическая проницаемость увеличивается при отклонениях от идеальной структуры. Исследования поддержаны грантами РФФИ № 14-03-00103 и 13-02-00633.

Литература

1. Krohns S., Lunkenheimer P., Kant Ch., Pronin A., Brom H., Nugroho A., Diantoro M., Loidl A. Colossal dielectric constant up to gigahertz at room temperature // Appl. Phys.Lett. – 2009. – V. 94. P. 122903-122906 .
2. Ерин Ю. Найдено вещество с гигантским значением диэлектрической проницаемости // Химия и химии. – 2009. № 1. С. 16-22.

Постер/Краткое сообщение

ЗОНДОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПЛАЗМЕ ВОДОРОДА, ИНДУЦИРОВАННОЙ ИМПУЛЬСНЫМ ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

А.А. Абрикосов, О.Ф. Якушев, Д.В. Лопаев, А.А. Долгов

Московский Физико-Технический Институт; e-mail: lescha.abriko@gmail.com

Литография в экстремальном ультрафиолете (ЭУФ) является ключевой технологией изготовления микрочипов нового поколения. В основе ЭУФ-литографа лежит сложная оптическая система, работающая с излучением на длине волны 13,5 нм. Оптическими элементами литографа являются многослойные рентгеновские зеркала на основе пары Mo/Si. Оптическая система ЭУФ-литографа поддерживается в высоком вакууме, но в силу технических особенностей установки в объёме постоянно присутствуют газы, в основном водород, под давлением от нескольких единиц до нескольких десятков Па. Прямая фотоионизация, а также ударная ионизация электронами, выбиваемыми излучением из оптических поверхностей приводят к образованию плазмы в газовой среде.

Взаимодействие этой плазмы с оптическими элементами может приводить к их повреждению, поэтому необходимо изучение процессов, происходящих как на поверхности, так и в объёме, что даёт возможность лучше их контролировать.

В этой работе мы представляем результаты изучения ЭУФ-индуцированной плазмы в условиях, близких к условиям настоящего ЭУФ-литографа. Экспериментальная установка включает в себя импульсный источник ЭУФ-излучения, дающий свет на длине волны 13,5 нм, а также чистую вакуумную камеру, в которой находится образец, имитирующий облучаемую оптическую поверхность. Чистая камера заполняется газом под давлением до 100 Па, а к образцу прикладывается отрицательное смещение от 0 до –200 вольт. В качестве диагностического инструмента использовался зонд Ленгмюра.

В работе были проведены зондовые измерения в плазме водорода – это основной газ, присутствующий в ЭУФ-литографе. Мы записали временную динамику вольт-амперных характеристик при разных значениях давления газа и смещения на образце. Из полученных кривых мы получили временную динамику температуры и плотности ЭУФ-индуцированной плазмы. Время жизни такой плазмы составляет несколько микросекунд, концентрация носителей заряда – несколько единиц на 10^8 частиц в см^3 . Эти результаты хорошо соотносятся как с предварительными теоретическими, так и с экспериментальными оценками.

ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОВЕДЕНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

А.Ф. Алыкова, О.М. Алыкова, А.М. Лихтер

Астраханский государственный университет
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а; e-mail: waiste15@bk.ru

Физические поля естественного или искусственного происхождения, такие как оптическое, электромагнитное и акустическое могут быть положены в основу технических устройств для управления поведением насекомых. Отдельным видам полей соответствуют рецепторы и органы насекомых, которые эти поля воспринимают. Например, воздушная, жидкая или твердая среды являются акустическими каналами связи для передачи звуковой информации насекомым, которые пользуются рецепторами, отличающимися морфологически и функционально. Наличие рецепторов воспринимающих сигналы из внешней среды, возможность анализа полученных сигналов и адекватное реагирование на полученный сигнал, несущий информацию, характерно для биокibernетических систем (БКС), следовательно, позволяет управлять поведением насекомых. Такая система состоит из трех последовательно взаимодействующих элементов: источника физического поля, внешней среды, т.е. канала передачи информации и объекта управления, причем эффективное управление в БКС можно осуществить после выбора оптимальных параметров, входящих в неё элементов на основе энергетических (уровень сигнала) и информационных (отношение «сигнал-шум») критериев качества. В свою очередь, решение этой задачи возможно при наличии математической модели, описывающей как прохождение управляющего сигнала в БКС, так и шумовые характеристики её элементов. Необходимо определить параметры этих элементов.

Для построения модели управления поведением комара в составе биокibernетической системы опираемся на то, что акустический сигнал можно представить в виде интеграла Фурье. Сигнал воспринимается насекомыми на фоне шумов естественного (ветер, шелест листьев деревьев, раскаты грома, журчание ручья и т.д.) и искусственного происхождения (открытие или закрытие двери, работа мотора холодильника, шум машины и т.д.). Кроме того, математическая модель управления поведением насекомых, должна учитывать влияние не только внешнего шума, но и шума производимого крыльями насекомого.

РАЗРАБОТКА ИОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ФОКУСИРОВКИ КЛАСТЕРНЫХ ПУЧКОВ НА УСТАНОВКЕ ЛЭМПУС-1

М.А. Аникеев, Н.Г. Коробейщиков

Новосибирский государственный университет
630090 г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2; e-mail: mikkkaa@mail.ru

В настоящее время кластерные пучки различных газов широко применяются в физике, химии и высоких технологиях для полировки и отчистки поверхностей, травления материалов, имплантации и инициации химических реакций. С помощью полировки и имплантации кластеров можно изменять полупроводниковые свойства материала, что крайне важно в современной микроэлектронике. В отличие от молекулярных или атомарных ионных пучков, ионно-кластерные пучки обладают важной особенностью: в процессе формирования пучка, можно изменять размеры кластеров и их энергию, что даёт такую обширную область применения этой технологии.

Целью данной работы является разработка системы формирования мощных кластерных пучков и анализ получаемых кластеров. Экспериментальные исследования проводились на установке ЛЭМПУС-1 в ОФП НИЧ НГУ с массивными (~ 1000 атомов) кластерами аргона при различных начальных условиях. Для достижения поставленной задачи было предложено усовершенствовать установку и использовать ионно-оптическую систему для фокусировки пучка. В ближайшее время планируется дальнейшая модификация установки ЛЭМПУС-1 с целью увеличения потока кластеров и проведение экспериментов с другими газами.

В результате проделанной работы получены следующие результаты:

- 1) Проведены расчёты для оптимального построения ионно-оптической системы с целью её применения на установке ЛЭМПУС-1.
- 2) Создана и установлена ионно-оптическая система для фокусировки кластерного пучка.
- 3) Проведены эксперименты по формированию кластеров аргона с использованием новой системы.
- 4) Получены масс-спектры кластерных пучков при различном фокусирующем напряжении и давлении газа в системе
- 5) Проведены дополнительные расчёты для установки системы магнитной сепарации ионов кластеров по массам.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО КАРБОНОВЫМИ КИСЛОТАМИ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ СОАПСТОКА

А.Р. Быков¹, Ю.И. Прокофьев², Т.Н. Пояркова³, А.С. Шестаков⁴

¹ 399770, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина; e-mail: ikt-inform@mail.ru

² Научный руководитель, заведующий лабораторией ЕГУ им. И.А. Бунина

³ Доцент кафедры «Высокомолекулярных соединений и коллоидов» Воронежского государственного университета, кандидат химических наук

⁴ Профессор кафедры «Высокомолекулярных соединений и коллоидов» Воронежского государственного университета, доктор химических наук

Поиск эффективных недорогих широко используемых пленкообразующих материалов на основе широко распространенных и доступных полимеров, таких как поливиниловый спирт, поливинилацетат, поливинилформиат весьма актуален. Так как свойства сополимеров можно прогнозировать на основе выбора мономера или соотношения полимер – мономер в исходной смеси модифицирование полимеров карбоновыми кислотами, входящими в состав мыла, может позволить получить материалы с новыми свойствами и утилизировать многотоннажный отход производства подсолнечного масла.

Цель данной работы – изучить и сравнить физико-химические свойства монослоев поливинилацетата (ПВА) и его модификаций олеиновой и стеариновой кислотами, содержащимися в мыле [1].

Выделение жировой составляющей мыла осуществляется экстрагированием толуолом в присутствии серной кислоты.

Изучение свойств монослоев исследуемых образцов проводилось с помощью метода Ленгмюра [2]. Были получены изотермы сжатия их монослоев (рисунок 1), в том числе при различных температурах. Визуальное сравнение изотерм сжатия различных образцов при одной и той же температуре позволяет выявить существенную разницу в поведении соответствующих монослоев. В частности, на изотерме сжатия монослоя ПВА, модифицированного стеариновой кислотой, четко видны три фазовых перехода, в то время как для остальных образцов наблюдается только два. Для количественной оценки поверхностных характеристик образцов определен ряд параметров (таблица 1): β – поверхностный коэффициент изотермического сжатия ($\beta = -\frac{1}{S_0} \left(\frac{\partial S}{\partial \pi} \right)_T$, где $S_0 = 243 \text{ см}^2$ начальная площадь монослоя; π – поверхностное натяжение монослоя, T – температура изотермы); π_0 – поверхностное натяжение, при котором произошла деструкция монослоя.

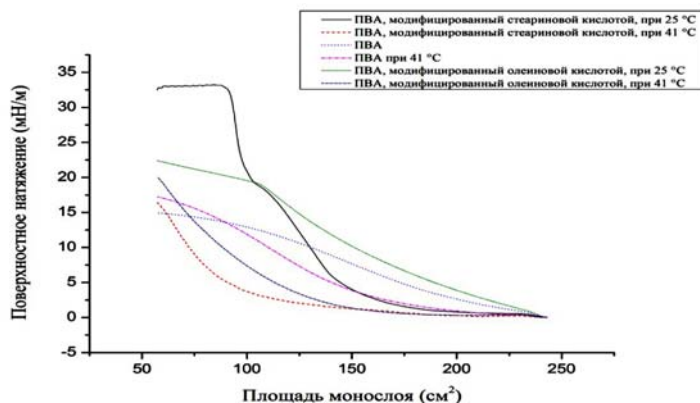


Рисунок 1. Изотермы сжатия монослоев ПВА и его модификаций карбоновыми кислотами при 25 °С и 41 °С.

Таблица 1

Параметры изотерм сжатия монослоев исследуемых образцов

Наименование образца	ПВА		ПВА, модифицированный стеариновой кислотой		ПВА, модифицированный олеиновой кислотой	
	25	41	25	41	25	41
Температура, °С	25	41	25	41	25	41
β , м·Н ⁻¹	45.7	28.8	-	-	30.4	19.6
π_0 , мН·м ⁻¹	15.5	15.4	32.8	15.7	21.7	18.9

Согласно таблице, модификация полимера компонентами соапстока существенно меняет его поверхностные свойства. Кроме того, меняется резистентность к тепловому воздействию. В зависимости от использованной для модификации карбоновой кислоты, можно получить материал с иными характеристиками или новыми физико-химическими свойствами. Последнее утверждение четко видно в случае использования стеариновой кислоты.

Литература

1. Способ получения стеариновой кислоты: пат. 443059 СССР, С 11 В 13/02, С 07 С 53/22, С 07 С 31/22. / М.В. Иродов, А.В. Абдурахимов, К.А. Фазылов [и др]., заявитель и патентообладатель Ташкентский политехнический институт. – № 1752031/23-4., заявл. 23. 02. 72; опубл. 15. 09.74.
2. Binks B.P. // Adv. Colloid Interface Sci. 1991. № 34. P. 343-348.

АКТИВИРОВАННЫЕ УГЛИ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ, ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ С ВОДНЫМ И ОРГАНИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОЛИТАМИ

Д.Е. Вервикишко, Е.И. Школьников

Объединенный институт высоких температур РАН
125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2; e-mail: vitkina-darya@yandex.ru

Существующие на сегодняшний день способы хранения энергии имеют определенные недостатки, поэтому имеется острая потребность в разработке и создании новых систем, отвечающих требованиям современной энергетики. В последнее время все большее внимание привлекают системы накопления энергии на основе суперконденсаторов (СК). Благодаря высоким значениям удельных мощностей, большим скоростям заряда и разряда и длительному времени жизни данные устройства активно завоевывают различные области энергетики, как стационарного, так и транспортного назначения.

Таблица 1

Емкость С, Ф/г	Norit (Голландия)	YP 50, Kuragay, (Япония)	P2, EnerG2, (США)	XH-001W (Китай)	Т-3	Т-4
С 1М ТТ в ацетонитриле	86	102	111	143	-	162
С 4,9 М H ₂ SO ₄	-	182	200	280	348	-

Данная работа посвящена увеличению энергетических характеристик СК за счет повышения емкости электродных структур. В результате работы получены новые данные по влиянию режимных параметров процесса термохимической активации древесины ольхи и березы на пористую структуру активированных углей. Установлены и объяснены корреляции между параметрами пористой структуры активированных углей и электродов и электрохимическими характеристиками СК на их основе. В работе определена оптимальная пористая структура активированных углей на основе древесины для суперконденсаторов с серной кислотой в качестве электролита. Показано, что объем пор радиуса менее 2-х нм на уровне 0,6 см³/г обеспечивает высокие энергетические характеристики активированных углей, при этом значительный объем мезо- и макропор оказывает негативное влияние в данной системе. Для органического электролита – 1М тетраэтиламмония тетрафторборат – объем пор радиуса менее 2-х

нм на уровне $0,8 \text{ см}^3/\text{г}$ достаточен для получения высокой удельной емкости на уровне 160 Ф/г . В таблице 1 приведено сравнение разработанных углей Т-3 и Т-4 с коммерческими аналогами.

ВЛИЯНИЕ ОРОГРАФИИ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ НА ДИНАМИКУ ТЕПЛОВОЙ КОНВЕКЦИИ

Н.Е. Данилова

Северо – Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия
E-mail: ninochka841@mail.ru, аспирантка второго года обучения

Для территории Ставропольского края характерна резко выраженная неоднородность рельефа, знание характеристик, причин и возможности предсказания конвективной деятельности позволит своевременно обеспечить безопасность людей и сохранность материального имущества [1].

При условии $w_i = 0$ уровень конвекции равен: $z_w = 2h_T = \frac{2\Delta_0 T}{\Delta\gamma}$. Из выражения следует, что основными причинами конвекции в сухой (или влажной ненасыщенной атмосфере) являются: динамический фактор, обусловленный орографией $w_{i0}^2 \neq 0$; термический фактор, обусловленный начальным перегревом $\Delta_0 T \neq 0$; в случае, если $w_{i0}^2 = 0$ и $\Delta_0 T = 0$, необходимым условием конвекции является наличие сверхadiaбатического градиента температуры $\gamma > \gamma_a$.

Учет орографии может оказаться существенным, особенно, в области критерильных значений, что очень важно при анализе устойчивости атмосферы в работах по искусственному увеличению осадкой (ИОУ). Выражение для скорости восходящих потоков на уровне конденсации имеет вид: $w_{\text{к}}^2 = w_{i0}^2 + 2\beta \frac{\Delta_0 T}{\Delta\gamma_{\text{ф}}} d_0 - \beta \frac{\Delta\gamma}{(\Delta\gamma_{\text{ф}})^2} d_0^2$, где $\Delta\gamma = (\gamma_a - \gamma)$ разность сухоadiaбатического градиента температуры и градиента окружающего воздуха, d_0 – дефицит точки росы у земли, $\gamma_{\text{т}}$ – градиент точки росы [1]. Из данного выражения видно, что наличие орографии способствует развитию облачной конвекции при более сухом приземном воздухе, чем это имело бы место при отсутствии орографического подъема воздуха. Следует обратить внимание еще на одну роль рельефа на развитие приземной и облачной конвекции. Из-за неоднородности земной поверхности эффекты динамического и термического происхождения максимальны, когда на материке есть горные хребты. Это говорит о том, что орография оказывает значительное влияние на развитие облачной конвекции.

Литература

1. Данилова Н.Е. Исследование особенностей влияния рельефа Ставропольского края на динамику тепловой конвекции /М.: Изд-во МГУ, 2014.

ФАЗОВАЯ КОРРЕКЦИЯ ДВУМЕРНЫХ ИНТЕРФЕРОГРАММ

В.В. Кротов

МГТУ им. Н.Э.Баумана; e-mail: baumwaum@gmail.com

Для регистрации спектров вторичного излучения в настоящее время широкое распространение получил статический фурье-спектрометр, в котором используется явление интерференции в клине, с наклонными зеркалами. Спектрометр применяется для получения спектров люминесценции веществ, при их возбуждении видимым и ультрафиолетовым излучениями, от лазерных источников и светодиодов.

Использование односторонней интерферограммы (рис. 1а) позволяет увеличить спектральное разрешение прибора в L/l раз. Но в этом случае возникает проблема с восстановлением спектра из интерферограмм и необходимо проводить процедуры фазовой коррекции для получения корректного спектра (рис. 1б).

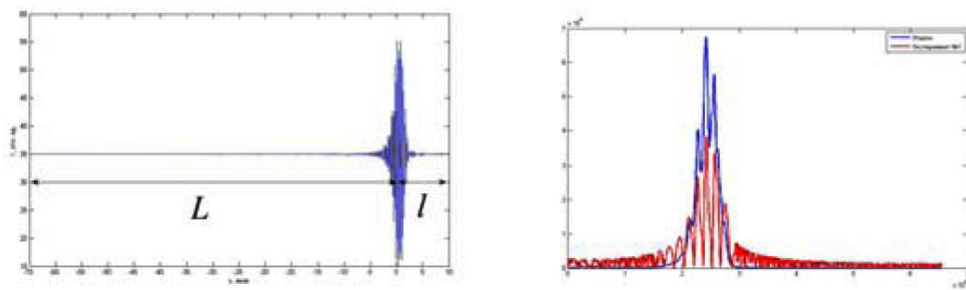


Рисунок 1. а). Пример односторонней интерферограммы; б) Спектр до (красный) и после (синий) коррекции.

В работе представлен алгоритм фазовой коррекции односторонних интерферограмм, полученных со статического Фурье-спектрометра. Подробно описана методика устранения фазовых искажений из интерференционных картин.

Литература

1. Основы фурье-спектрометрии / А.Н. Морозов, С.И. Светличный; Ин-т энергет. Проблем хим. Физики РАН. – М.: Наука, 2006. – 275с.
2. Горбунов Г.Г., Яшков Д.А. Особенности применения фазовой коррекции интерферограмм фурье-спектрометра // Опт. журн. 1998. № 9. С. 17-21.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ВУФ ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗРЯДОМ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ В СМЕСИ ПАРОВ РТУТИ И ИНЕРТНОГО ГАЗА

Л.М. Василяк¹, Н.Н. Кудрявцев², В.А. Левченко², Ю.Е. Шунков³

¹ОИВТ РАН, Москва, Россия; e-mail: vasilyak@yandex.ru

²МФТИ (ГУ), Москва, Россия; e-mail: mscoff@mail.ru

³НИУ «МЭИ», Москва, Россия

Амальгамные газоразрядные лампы низкого давления (АГРЛНД), излучающие две резонансные УФ линии (254 нм и 185 нм), широко применяются при очистке воздуха, обработке поверхностей, дезинфекции и др. и имеют КПД ~30-45% при высокой погонной мощности разряда (1,5-4 Вт/см) [1]. При разработке АГРЛНД необходимо определить ряд параметров: давление и состав смеси буферных газов, плотность тока разряда, состав амальгамы и др. В настоящей работе исследовалась зависимость КПД генерации резонансной линии ртутного разряда с длиной волны 185 нм от давления буферного газа в малоизученной области давлений менее 1 Торр. Для проведения исследований были изготовлены образцы амальгамных ГРЛНД с длиной разрядного промежутка 40 см и внутренним диаметром 16,6 мм. В качестве буферного газа были выбраны технические аргон и неон, давление изменялось в пределах от 0,05 до 2 Торр. В качестве источника паров ртути в разряде использовалась индиевая амальгама, плотность разрядного тока составляла 0,9 А/см², частота разрядного тока – 80 кГц.

Было выявлено, что при понижении давления буферного газа от 2 до 0,05 Торр, выход УФ излучения с длиной волны 185 нм монотонно растет, и КПД генерации данной линии вырастает в 1,4 раза при использовании в качестве буферного газа аргона. При использовании в качестве буферного газа неона, выход излучения 185 нм остается практически постоянным, в то время, как КПД его генерации вырастает примерно в 1,2 раза. Максимальная абсолютная величина КПД генерации линии с длиной волны 185 нм составила ~7,5%, при этом мощность разряда была ~70 Вт.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности продолжения практических и теоретических исследований в области низких давлений при использовании в качестве буфера неон-аргоновых смесей [2].

Литература

1. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 720 с.
2. Шунков Ю.Е., Попов О.А., Левченко В.А. Вакуумное ультрафиолетовое излучение плазмы, возбужденной на частотах 10-80 кГц в смеси паров ртути и инертных газов // Вестник МЭИ. 2014. №2. С. 51-55.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ПОРТАТИВНОГО ПОЛЯРИСКОПА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА МИНЕРАЛОВ

Б.М. Лобастов, А.Е. Машукова

Сибирский федеральный университет; e-mail: lbm02@yandex.ru

Роль физики сложно переоценить в геологии, которая изучает Землю в планетарном масштабе, а ее минералы – на атомном уровне. Характерными для некоторых минералов являются: двойное лучепреломление, поляризация света, вращение плоскости поляризации, плеохроизм. Всё это – диагностические свойства минералов в шлифах, изучаемых в поляризационном микроскопе. С помощью полярископа можно определять изотропность и анизотропность минералов, вставок в различных изделиях, например, в ювелирных украшениях.

Но полярископ – это довольно хрупкий, тяжёлый и дорогостоящий прибор. Поэтому было решено изготовить для экспресс-анализа анизотропности/изотропности материалов полярископ из подручных средств, простой в исполнении.

Полярископ устроен следующим образом: свет от источника света проходит через два скрещенных поляризатора, исследуемый объект помещается между ними.

Идея изготовления простейшего полярископа возникла при рассмотрении образцов с помощью одного поляроида – анализатора. Поляризатором служил жидкокристаллический монитор компьютера. Добиваясь в темноте гашения экрана вращением анализатора, можно рассматривать объекты, помещенные между ними. Изотропные материалы при любом рассмотрении остаются серыми, в то время как анизотропные материалы переливаются яркими цветами и становятся ярче или темнее при повороте.

Можно ли собрать из подручных средств поляриод? Как известно из курса физики, существует довольно простой метод получения поляризованных лучей с помощью стопы Столетова. Но использовать ее неудобно из-за настройки падения луча под углом Брюстера.

Поэтому было решено взять два кусочка монитора из старых, отслуживших свой срок приборов или игрушек, установить, в каком положении они совсем не пропускают свет, и закрепить их в этом положении. Для этого был изготовлен корпус из термопластика.

Таким образом, сконструированный прибор позволяет определять изотропность/анизотропность кристаллов, отличать в ювелирных изделиях кристаллы от стёкол, наблюдать механические напряжения в пластике и стёклах, то есть наблюдать искусственную анизотропию. Он будет полезен не только в геологической практике,

но и в лабораторном практикуме по физике.

При докладе демонстрируются возможности прибора.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЕННОГО ПОРШНЯ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ НАНОСПУТНИКА

А.Г. Маслов, Ю.В. Герасимов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва 105005, Россия; e-mail: maslov_art@mail.ru,
maslov_art@bmstu.ru

В работе приводится теоретическое решение задачи об определении рациональных параметров и состава частиц, оптимизирующих взаимодействие плазменного поршня на метаемый объект, в частности – наноспутник. Оптимизация параметров плазменного образования необходима для решения следующих проблем: внедрение частиц-носителей в поверхность метаемого тела с образованием радиационных пористостей и увеличением удельного объема наноспутника, разогрева конструкционных материалов наноспутника до фазовых переходов, разогрева материалов ведущего устройства, увеличения массы метаемого тела. Это позволит повысить КПД перспективных рельсотронных систем ускорения наноспутника. Подобная рационализация выгодна также при практически любом взаимодействии плазмы с поверхностью или полем. В данной работе приводится алгоритм нахождения рациональных параметров плазменного образования, позволяющих обеспечить нормальное падение частиц-носителей тока на поверхность воздействия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛЬФРАМА И ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ МОДЕЛИ АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА

В.В. Мельников, Н.В. Киселев, В.Н. Аникеев

МГТУ им.Баумана; e-mail: anikeev4032@yandex.ru, vlavlamel@gmail.com

Получены зависимости электропроводности, интегрального и спектрального (длина волны 0,65 мкм) коэффициентов теплового излучения вольфрама от температуры в диапазоне 1173-1873К. Исследована универсальная функция Кирхгофа-излучательная способность модели абсолютно черного тела (АЧТ) в указанном диапазоне температуры для двух длин волн (0,714 и 0,950 мкм).

Основными составляющими установки являются:

- специально разработанная для лабораторных условий вакуумная электроламповая модель АЧТ типа ТОИ 1073-2073, в которой излучают полости цилиндрической тонкостенной (20мкм) вольфрамовой трубки, снабженной перегородкой;

- яркостный оптический пирометр ЛОП-72;

- фотогальванический приемник излучения со сменными интерференционными светофильтрами и фокусирующей линзой;

- блоки питания и цифровые измерительный приборы.

Разработанные методики исследований и полученные результаты могут быть полезными в технике измерений электро- и теплофизических характеристик различных электропроводящих материалов и при изучении закономерностей теплового излучения в области высоких температур (выше 1000К).

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРА С ГИРОСКОПИЧЕСКИМ ВИБРОГАСИТЕЛЕМ

А.В. Новиков, Г.Ф. Сафина

ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет», Нефтекамский филиал, Республика Башкортостан, г. Нефтекамск; e-mail: safinagf@mail.ru

Представленная работа относится к исследованиям в диагностировании механических систем и их составляющих по известным частотам их свободных колебаний [1–3]. В работе рассмотрены свободные колебания, возникающие при вращении ротора с гироскопическим виброгасителем (рис. 1).

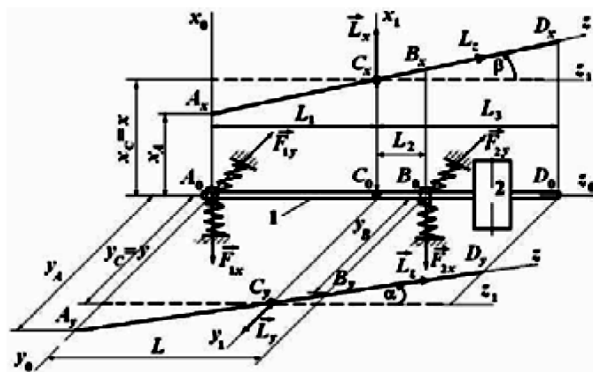


Рисунок 1. Схема упругого подвеса оправки с виброгасителем;

1 – вал оправки (ротор), 2 – маховик с приводом.

В качестве обобщенных координат для составления уравнений Лагранжа приняты: координаты точки C ($x_C = x, y_C = y$) и угловые координаты: α – угол между осью вала z и проекцией на плоскость y_1z_1 ; β – угол между осью вала z и проекцией на плоскость x_1z_1 .

Система уравнений свободных колебаний ротора с гасителем принимает вид:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} + (c_1 + c_2)x - (c_1L_1 - c_2L_2)\beta &= 0; \\ m\ddot{y} + (c_1 + c_2)y + (c_1L_1 - c_2L_2)\alpha &= 0; \\ J_e\ddot{\alpha} + J_zu^2\omega\dot{\beta} + (c_1L_1^2 + c_2L_2^2)\alpha + (c_1L_1 - c_2L_2)y &= 0; \\ J_e\ddot{\beta} - J_zu^2\omega\dot{\alpha} + (c_1L_1^2 + c_2L_2^2)\beta - (c_1L_1 - c_2L_2)x &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $m, J_e = J_x = J_y, J_z$ – масса и главные центральные моменты инерции ротора; ω – угловая скорость собственного вращения ротора вокруг оси z, L_1 и L_2 – расстояния от центра масс ротора до горизонтальных опор A_0 и B_0 .

С учетом того, что ротор совершает свободные колебания ($x = M_1 \sin(pt + \varphi), y = M_2 \cos(pt + \varphi), \alpha = M_3 \cos(pt + \varphi), \beta = M_4 \sin(pt + \varphi)$, где M_i ($i = 1, 2, 3, 4$) – амплитуды, p – частота свободных колебаний) и, подставляя x, y, α, β и их производные в уравнения (1), получим следующую систему уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} (c_1 + c_2 - mp^2)M_1 - (c_1L_1 - c_2L_2)M_4 &= 0; \\ (c_1 + c_2 - mp^2)M_2 + (c_1L_1 - c_2L_2)M_3 &= 0; \\ (c_1L_1^2 + c_2L_2^2 - J_e p^2)M_3 + (c_1L_1 - c_2L_2)M_2 + J_zu^2\omega p M_4 &= 0; \\ (c_1L_1^2 + c_2L_2^2 - J_e p^2)M_4 - (c_1L_1 - c_2L_2)M_1 + J_zu^2\omega p M_3 &= 0. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Решая систему (2) относительно амплитуд, имеем:

$$\begin{vmatrix} c_1 + c_2 - mp^2 & 0 & 0 & c_2L_2 - c_1L_1 \\ 0 & c_1 + c_2 - mp^2 & c_1L_1 - c_2L_2 & 0 \\ 0 & c_1L_1 - c_2L_2 & c_1L_1^2 + c_2L_2^2 - J_e p^2 & J_zu^2\omega p \\ c_2L_2 - c_1L_1 & 0 & J_zu^2\omega p & c_1L_1^2 + c_2L_2^2 - J_e p^2 \end{vmatrix} = 0. \quad (3)$$

Раскрыв определитель (3), получим частотное уравнение

$$Ap^8 + Bp^6 + Cp^4 + Dp^2 + E = 0, \quad (4)$$

в котором A, B, C, D, E выражаются через физические параметры механической системы. По решению прямой задачи показано, что с увеличением жесткостных параметров частоты колебаний увеличиваются, а с увеличением массовых параметров – уменьшаются [3].

Впервые поставлены и решены обратные спектральные задачи диагностирования характеристик ротора с виброгасителем по известным частотам его свободных колебаний. Рассмотрены решения обратных задач диагностирования коэффициентов жесткостей опор ротора и главных центральных моментов инерции ротора. Получены аналитические формулы для характеристик ротора. Приведены методы решения обратных задач по известным значениям двух и трех частот колебаний ротора. Разработаны программные реализации решений задач. Проведенные исследования важны при решении проблемы сохранения заданных безопасных частот колебаний ротора с виброгасителем при изменениях его физических параметров.

Литература

1. Сафина Г.Ф. Акустическое диагностирование механических систем: монография. В 2 ч. Ч. 2 – Уфа: РИЦ БашГУ, 2014. – 110 с. ISBN 978-5-7477-3517-0.
2. Сафина Г.Ф., Иванова Е.А. Диагностирование жесткостей опор ротора по частотам его свободных колебаний. // Физическое образование в вузах. – Т. 20. № 1С. – 2014. – С. 33.
3. Сафина Г.Ф. Акустическое диагностирование характеристик лопаток турбины, связанных бандажом // Контроль. Диагностика – 2014. № 7. – С. 64-72.
4. Новиков А.В., Сафина Г.Ф. Свободные колебания ротора с виброгасителем // Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: тезисы докладов VI Международной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых / отв. ред. Б.Н. Хабибуллин, Е.Г. Екомасов. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. – 324 с. – ISBN 978-5-7477-3214-8. – С. 276.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПЛОСКОЙ МОНОХРОМАТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ ДИЭЛЕКТРИКЕ

Д.И. Портнов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

В работе представлены результаты экспериментальных исследований параметров когерентного излучения He-Ne лазера (длина волны $\lambda = 632$ нм), при прохождении через вращающийся диэлектрик, выполненный из оптического стекла марки ТФЗ с показателем преломления $n = 1,7123$. На поверхность оптического элемента нанесена отражающая поверхность, обеспечивающая шесть внутренних отражений при падении луча под углом $\gamma = 60^\circ$ на плоскую поверхность диска.

В ходе экспериментов были обнаружены и измерены обратимые переходные процессы поворота плоскости поляризации при частотах вращения диэлектрика $f = 2..230$ Гц, проведены исследования явления для различных исходных компонент поляризации излучения. Получен общий график зависимости углов поворота плоскости поляризации от частот, на основе измеренных переходных процессов, имеющий нелинейный вид: куполообразная зависимость до частоты в 100 Герц и рост угла, близкий к линейному, на частотах свыше 100 Герц.

Зафиксирован эффект углового смещения лазерного луча на частотах вращения до 100 Герц, достигающий величин $0,75^\circ$, и, имеющий вид, схожий с видом общего графика углов поворота плоскости поляризации от частоты.

Измерен эффект уменьшения потерь излучения на отражающей поверхности, нанесенной на диэлектрик, на величины, достигающие 35% от исходного излучения в невращающемся диэлектрике. Представлен графики и двухмерные изображения эффекта, полученные на измерителе профиля пучка Ophir Spiricon.

Приведено возможное обоснование полученных результатов на основе явления фотоупругости и теплового расширения.

Высказаны предположения о возможных прикладных применениях обнаруженных эффектов: создание устройств управления параметрами оптического излучения, новые методы контроля качества оптических материалов и др.

ВЛИЯНИЕ ОЗОНА НА ПРОВОДИМОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН

П.Ф. Прокопович, В.Б. Пикулев, В.А. Гуртов

Петрозаводский государственный университет, e-mail: proxy88@petsu.ru

Несмотря на огромное значение стратосферного озона в сохранении биосферы Земли, тропосферный озон является особо токсичным загрязнителем, вследствие чего Всемирная организация здравоохранения включила его в список пяти основных загрязняющих веществ, содержание которых необходимо учитывать при определении качества воздуха. В связи с этим контроль содержания озона в приземной области является актуальной экологической задачей.

При исследовании электрических свойств нанокристаллической целлюлозы (НСС) нами был обнаружен эффект роста проводимости целлюлозной матрицы при озоновом воздействии. В ходе экспериментов было установлено, что величина проводимости НСС прямо пропорциональна концентрации озона вблизи поверхности образца при высоком пороге чувствительности и низкой инерционности отклика. Диапазон концентраций озона, при которых наблюдался данный эффект, простирался от естественных концентраций озона в атмосфере до нескольких предельно-допустимых концентраций (ПДК). FTIR и гравиметрические исследования показали, что рост проводимости НСС сопровождается (и, вероятно, обусловлен) увеличением содержания воды в порах материала. Однако, практическому использованию НСС в качестве материала измерителей концентрации озона препятствовала сильная, нелинейная зависимость проводимости наноцеллюлозы от влажности.

Основной целью проделанной работы явилось создание полимерного композита, способного выступать в качестве активного материала высокочувствительного датчика озона и, при этом, не обладающего столь сильной как у наноцеллюлозы зависимостью электропроводности от влажности.

Для снижения влияния влажности среды на электропроводность, было предложено в качестве связующего компонента композита использовать поливинилпирролидон (PVP). Благодаря наличию карбонильных групп в мономерах PVP, при нормальных условиях цепочка поливинилпирролидона адсорбирует большое количество атмосферной влаги, вследствие чего, влияние влажности среды не оказывает значительного влияния на электропроводность (при относительной влажности не превышающей 75%). Результаты расчетов взаимодействия цепочек PVP и НСС методом РМЗ показали высокую когезию этих материалов. Измерения ИК-спектров образцов PVP в НПВО-ячейке при непосредственном воздействии озона показали рост широкого пика в диапазоне $3000 \div 3500 \text{ см}^{-1}$ (связанная вода), заметного изменения положения или величины других пиков обнаружено не было. При этом образующаяся

слабосвязанная вода может легко десорбироваться при продувке образца воздухом.

В качестве объекта исследования выступали тонкие (~20 мкм) пленки композитного материала, сформированные методом электроспиннинга золя NCC в спиртовых и водных растворах PVP. Массовые доли содержания NCC и PVP в золе варьировались от 1:1 до 1:25. Наноцеллюлоза, используемая при получении композита формировалась путем химической деструкции микрокристаллической целлюлозы (МСС) в смеси кислот при ультразвуковом диспергировании и методом механического размола МСС в шаровой мельнице. В качестве PVP использовался порошок низкомолекулярного (степень полимеризации 12600 ± 2700) поливинилпирролидона качества «ХЧ». При этом высокая адгезионная способность PVP обеспечила возможность нанесения тонких пленок композита на широкий класс подложек.

При одинаковой величине приложенного напряжения синтезированный композит, обладающий значительной величиной удельной поверхности, демонстрировал существенно более высокий, по сравнению с таблеткой NCC, отклик при одинаковом озоновом воздействии. Было установлено, что с ростом содержания PVP в композите чувствительность системы как датчика озона монотонно уменьшается с одновременным увеличением устойчивости электрических характеристик к изменениям влажности окружающей среды.

Наиболее приемлемыми для практических приложений оказались композиты с соотношением PVP-NCC 1:4. Увеличение относительной влажности окружающего воздуха от 30 до 65% приводило к увеличению проводимости композита PVP-NCC (1:4) приблизительно в 2 раза, в то время как аналогичные измерения для чистой NCC характеризовались изменением проводимости более чем на порядок. При этом, чувствительность по озону на напряжении 1В составила величину ~5.3 pA/ppb (ПДК озона составляет величину ~0.1 мкг/м³ (~47 ppb)). Отметим, что величина чувствительности материала оказалась прямо пропорциональной величине приложенного напряжения.

Было высказано предположение, что эффект увеличения проводимости композита при озоновом воздействии обусловлен увеличением концентрации воды в межмолекулярном пространстве композита и генерацией ионов гидроксония на сетке водяных мостиков.

В заключении отметим, что на базе обнаруженного эффекта был сконструирован прототип переносного измерителя концентрации озона, характеризуемый низкой себестоимостью и высокой чувствительностью. Величины токового отклика датчика на базе синтезированного композита при воздействии озона с концентрацией 1 ppb оказались вполне доступны для современных операционных усилителей, а использование дополнительных влагопоглощающих слоев привело к значительному увеличению разрешающей способности.

ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ

А.С. Рыбаков, Е.И. Демихов, В.В. Лысенко

Физический Институт им. П.Н. Лебедева РАН
119991 г. Москва, Ленинский проспект д. 53; e-mail: aleksandr@bk.ru

Сверхпроводящая магнитная система предназначена для создания сильного магнитного поля для томографического комплекса, при этом она должна поддерживать магнитное поле в большом объёме.

Произведён прочностной анализ механического напряженного состояния магнитной системы и выработаны рекомендации для проектирования элементов конструкции системы. Средствами программного комплекса ANSYS построена конечно-элементная модель и проведена серия численных испытаний. В численных экспериментах реализована трёхмерная контактная задача.

Рассмотрены несколько основных задач о напряжённо деформированном состоянии контактных узлов. В качестве основных узлов системы были выбраны: подвесы, внешний кожух, гелиевый сосуд. Эти узлы были выбраны исходя из того что они являются самыми нагруженными, при этом они должны обладать необходимым коэффициентом запаса прочности (например, для подвеса он должен равняться 3).

Подвесы было решено изготавливать из композитного материала, т.к. он обладает высокими прочностными характеристиками и низкой теплопроводностью. Были рассмотрены различные варианты исполнения подвесов и выбран оптимальный вариант, который обеспечил необходимые прочностные и тепловые характеристики.

Задачей внешнего кожуха является его устойчивость при воздействии внешнего давления, а также необходимость выдерживать нагрузку со стороны сверхпроводящего соленоида, обладающего значительным весом.

Таким образом результаты проведённого анализа деформационно-прочностных свойств конструкции основных узлов были использоваться в создании сверхпроводящей магнитной системы для томографического комплекса.

Литература

1. *Cosmus T.C., Parizh M.* Advances in whole-Body MRI magnets. IEEE Trans. on Appl. Superconductivity, 2011, V.21, №3, p.2, pp.2104-2109.
2. www.ansys.com

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК MoSe_x , СОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦЫ Mo

В.Д. Савинов, Р.И. Романов, В.Ю. Фоминский

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
115409, г. Москва, Каширское ш., д. 31; e-mail: nevera2014@yandex.ru

Установлено, что внедрение наночастиц молибдена вызывает важные структурные изменения тонких пленок MoSe_x , формируемых импульсным лазерным осаждением. В окружении наночастиц наблюдался поворот базисных плоскостей слоистой атомной упаковки матрицы MoSe_x и, как следствие, выход на поверхность пленки краевых состояний, образующихся при «обрыве» слоистой упаковки атомов Se-Mo-Se. При достаточно большой концентрации наночастиц этот эффект обеспечивал формирование высокой плотности краевых состояний, обладающих повышенной (в сравнении с самими базисными плоскостями) каталитической активностью для инициирования электрохимической реакции выделения водорода в растворе $0,5\text{M H}_2\text{SO}_4$. Измерения вольтамперометрических зависимостей при комнатной температуре показали, что при нанесении в оптимальных режимах тонкопленочных покрытий MoSe_x на углеродный катод достигается существенное уменьшение перенапряжения водорода и увеличение катодного тока. Полученные результаты указывают на перспективность разработок в области получения наноструктурированных электродов на основе слоистых дихалькогенидов переходных металлов, как альтернативы дорогостоящих электродов на основе металлов платиновой группы для электрокатализаторов водорода.

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ПРОФИЛЬ ВЕТРА

Ю.А. Семенова, К.А. Семенов

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия
E-mail: brilliance_wave@mail.ru

Изменение профиля ветра с высотой получило название спирали Экмана, которая не учитывает изменение влажность воздуха и ориентацию изобар. Нашей целью является рассмотрения двумерной модели движения воздуха (модель Экмана) для сухого и влажного воздуха и ориентации изобар. Математическая модель профиля ветра в пограничном слое атмосферы получается в результате решения уравнения, описывающее движение воздуха в атмосфере (уравнение Навье-Стокса) в проекции на горизонтальную плоскость, при условии горизонтального не изменяющегося во времени ветра, где ρ_i – плотность рассматриваемой влажной воздушной частицы.

В случае движения сухого воздуха составляющие скорости:

$$u = u_g (1 - e^{-kz} \cos kz) - v_g e^{-kz} \sin kz, \quad v = v_g (1 - e^{-kz} \cos kz) + u_g e^{-kz} \sin kz.$$

Составляющие скорости геострофической ветра в сухой атмосфере равны:

$$u_g = -\frac{1}{\rho_l l} \frac{\partial p}{\partial y}, \quad v_g = \frac{1}{\rho_l l} \frac{\partial p}{\partial x}.$$

В случае движения влажного воздуха составляющие скорости:

$$u_v = u_{gv} (1 - e^{-kz} \cos kz) - v_{gv} e^{-kz} \sin kz, \quad v_v = v_{gv} (1 - e^{-kz} \cos kz) + u_{gv} e^{-kz} \sin kz.$$

Составляющие скорости геострофического ветра во влажной атмосфере равны:

$$u_{gv} = \frac{2R(T(\alpha\gamma_2 + \beta b_2) + \gamma_2)}{\nu l}, \quad v_{gv} = -\frac{2R(T(\alpha\gamma_1 + \beta b_1) + \gamma_1)}{\nu l}.$$

где γ_1, γ_2 – изменение температуры вдоль параллели и меридиана; b_1, b_2 – градиент массовой доли водяного пара по параллели и меридиану, $2\omega_0 \sin \varphi = l$ – параметр Кориолиса, $R_v / R_d - 1 = M_d / M_v - 1 = 0,608 \equiv \beta$.

Найдем тангенс угла наклона ветра у поверхности земли по отношению к изобарам:

а) для сухой атмосферы

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{u} = \frac{u_g + v_g}{u_g - v_g},$$

б) для влажной атмосферы

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_v}{u_v} = \frac{u_{gv} + v_{gv}}{u_{gv} - v_{gv}}.$$

При движении сухого воздуха угол наклона ветра у поверхности земли по отношению к изобарам зависит от горизонтальных градиентов давления вдоль параллели и меридиана, при движении влажного воздуха – от горизонтальных градиентов температуры и влажности воздуха.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ЗАДАННОЙ ТОЛЩИНЫ ПОСРЕДСТВОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА МОДИФИКАТОРА

Ю.С. Сорокин

Омский государственный технический университет; e-mail: hawklive@yandex.ru

Формирование защитных покрытий из тугоплавких металлов на изделиях из конструкционных сталей посредством ионно-плазменных методов является одним из актуальных направлений исследований в области современного материаловедения. Одной из основных характеристик покрытия является его толщина, оказывающая непосредственное влияние на физико-механические и эксплуатационные свойства покрытия [1].

Для достоверного измерения толщины покрытий в работе использовался контроллер Sycon STC-2000A установки магнетронного распыления ADVAVAC VSM-200. Данный контроллер требует установки таких калибровочных параметров, как плотность, Z-фактор и «tooling». Методом магнетронного распыления были получены однородные, равномерно распределенные по подложке покрытия из молибдена, тантала и вольфрама. Время нанесения покрытий составляло от 30 до 70 минут, что соответствовало отображаемой контроллером толщине в 5 мкм.

С помощью растрового электронного микроскопа Jeol JCM-5700 измерялась толщина полученных покрытий. Для образца с покрытием из молибдена толщина составила 2,10 мкм, из вольфрама – 2,78 мкм, из тантала – 1,79 мкм. Для высокочастотного магнетрона (ВЧ) и двух магнетронов постоянного тока (ПТ) произведен расчет калибровочных параметров – плотности, Z-фактора и «tooling». Эти параметры выполняют функцию поправочных коэффициентов для более точного определения толщины покрытия непосредственно в процессе его распыления на подложку (табл. 1). Значения поправочного коэффициента «tooling» соответствует диапазону значений, допустимых при имеющемся расположении кварцевого датчика в камере относительно источника распыления и подложки. Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 13-08-98063-р_Сибирь_a.

Таблица 1

Калибровочные параметры для покрытий из тугоплавких металлов

Материал модификатора	Магнетрон	Плотность, г/см ³	Z-фактор	«Tooling», %
Молибден	ВЧ	24,30	0,257	41,97
Вольфрам	ПТ-1	34,91	0,163	55,29
Тантал	ПТ-2	46,73	0,262	35,52

Литература

1. Сорокин Ю.С. Обзор методов поверхностного ионно-плазменного модифицирования материалов / Ю.С. Сорокин, Д.А. Полонянкин // Актуальные проблемы современной науки: материалы III межвузовской науч.-практ. конф. студентов / [ред.-кол.: Вал.И. Суриков, В.К. Волкова, Т.В. Куниевская]. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – С. 85–87.

РЕЗИСТИВНЫЕ СВОЙСТВА ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

О.В. Спири́н, В.П. Малиненко

КФТТ ПетрГУ; e-mail: olspirin@petersu.ru

Перспективным приложением анодных оксидов переходных металлов является их использование в качестве базовых материалов для элементов резистивной памяти с произвольной выборкой (ReRAM). ReRAM основана на эффекте резистивного переключения, характеризующегося обратимым изменением электрического сопротивления элемента структуры в зависимости от протекающего через него электрического тока.

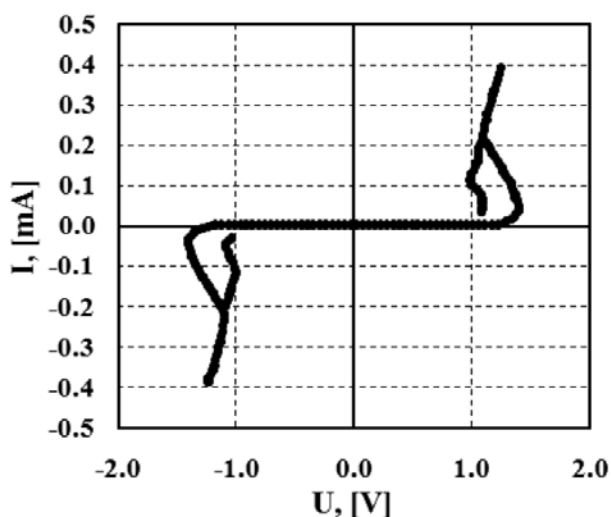


Рисунок 1. Динамическая ВАХ структуры Ti-TiO_x-Au.

Эффект резистивного переключения обусловлен наличием кислородных вакансий в оксидах переходных металлов с нарушенной стехиометрией по кислороду

и увеличением их концентрации в области между электродами под действием приложенного поля до значения порога протекания по ним захваченных на них электронов т.о. кислородные вакансии выступают в роли доноров. Эффект резистивного переключения наблюдается во многих системах, сформированных с использованием оксидов Nb, Mo, W, Hf и др.

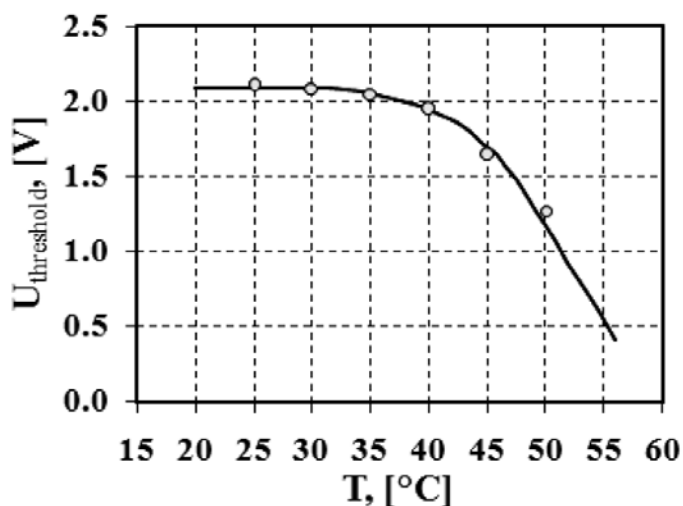


Рисунок 2. Зависимость порогового напряжения переключения для структуры Ti-TiO_x-Au от температуры.

Образцы анодного оксида титана легированные алюминием имели вольт-амперную характеристику (ВАХ), характерную для биполярного механизма переключения (рис. 1). С увеличением температуры (рис. 2) уровень порогового напряжения начинает уменьшаться и структура теряет устойчивость к записи-презаписи, это возможно связано с увеличением коэффициента диффузии кислородных вакансий и уменьшением на его фоне действия электрического поля, пытающегося уменьшить их концентрацию в проводящем канале на этапе перехода в непроводящее состояние.

Литература

1. A.L. Pergament, V.P. Malinenko, L.A. Aleshina, E.L. Kazakova, and N.A. Kuldin, "Electrical Switching in Thin Film Structures Based on Molybdenum Oxides", Journal of Experimental Physics, Volume 2014 (2014), Article ID 951297, 6 pages.

ИННОВАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО

Устные доклады

ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕКОЛ $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$ В КАЧЕСТВЕ АКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

В. Е. Зайкова, Н. В. Мельникова, К. В. Курочка, О. Л. Хейфец

Уральский федеральный университет им. первого президента России Б. Н. Ельцина
620000, Россия, г. Екатеринбург, проспект Ленина, 51; e-mail: vasilisazaykova@gmail.com

Многокомпонентные халькогениды меди и серебра являются перспективными материалами для радио- и микроэлектроники, так как многие из них являются ионными проводниками с низкой температурой начала заметного ионного переноса и высокой долей ионной проводимости [1, 2]. Стеклообразные ионные проводники $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$, $1 \geq x \geq 0,5$, для которых исследованы временные, барические и температурные зависимости электрических свойств [3-5], запатентованы в качестве резистивного материала [6]. Цель работы – оценить перспективу использования стеклообразных ионных проводников $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$, $1 \geq x \geq 0,5$, в качестве материалов для активного элемента реле времени.

В работах [4, 6], где подробно описаны временные зависимости электрических свойств стеклообразных материалов $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$, показано, что при приложении к образцу постоянной разности потенциалов сопротивление на образце экспоненциально возрастает (пример для одного из составов приведен на рис. 1а), меняясь на несколько порядков. Электрические свойства материалов свидетельствуют о возможном применении их в качестве активных компонентов реле времени. Простейшая модельная схема, иллюстрирующая принцип работы такого реле времени представлена на рис. 1б и рис. 1в. При подключении резистора из предлагаемого материала, т.е. резистора с сопротивлением, зависящим от времени, в цепь последовательно с нагрузкой (например, лампочкой) в первый момент времени лампочка загорится, но со временем сопротивление резистора возрастёт, и ток, протекающий в цепи, будет слишком мал, и лампочка погаснет. При параллельном подключении в первый момент времени ток пойдёт через резистор, подобранный так, чтобы его начальное сопротивление было меньше сопротивления нагрузки (например, лампочки), через какое-то время ток пойдёт через лампочку, так как сопротивление

резистора станет больше сопротивления лампочки, и она загорится. Таким образом, резистор из стеклообразного материала можно использовать как реле времени или таймер для выключения или включения элементов цепи через определённое время, варьируя способ подключения (последовательное, параллельное). Как видно из схем, реле времени с использованием стеклообразных $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$, $1 \geq x \geq 0,5$, представляет собой всего лишь резистор с контактами, тогда как обычно схемы реле времени включают в себя конденсатор, резистор и транзистор. На время задержки влияет множество факторов (толщина слоя резистивного материала, концентрация меди и серебра, напряжение сети и используемые электроды) при различной комбинации этих факторов время задержки может составлять от нескольких секунд до нескольких дней.

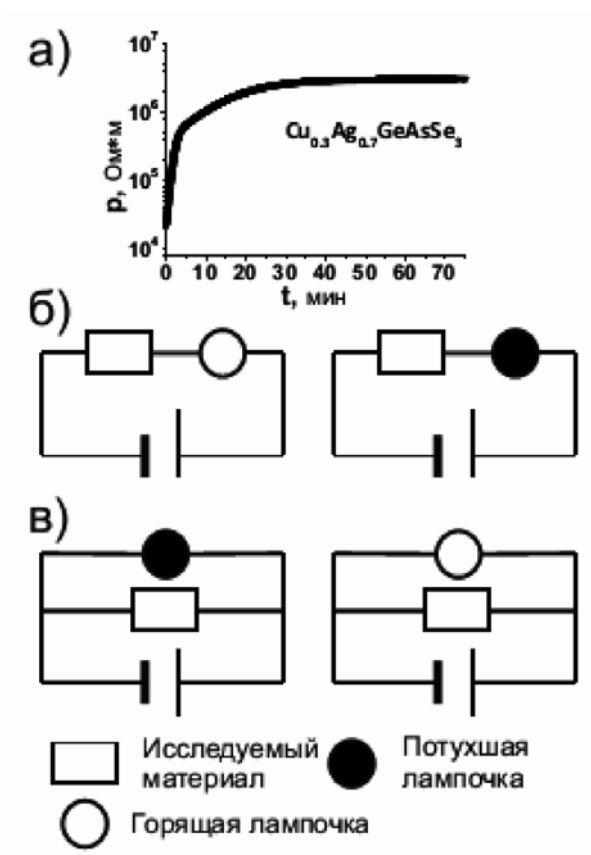


Рисунок 1. а) временная зависимость удельного сопротивления $\text{Cu}_{0.3}\text{Ag}_{0.7}\text{GeAsSe}_3$; б) схема работы реле времени при последовательном (б) и параллельном (в) подключении резистора из предлагаемого материала.

Предварительная оценка себестоимости (затраты на трудовые ресурсы, материалы для синтеза, электроэнергию, расходные материалы и использование оборудования) активного компонента реле времени составила 50–100 рублей в зависимости от необходимого количества и состава материала.

В данной работе предложен инновационный активный элемент реле времени на основе стеклообразных $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$, $1 \geq x \geq 0,5$, предложенные схемы работы реле-времени являются более простыми в реализации, чем существующие на данный момент. Простота установки также обуславливает невысокую себестоимость предложенного реле времени.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-02-00633 и программы поддержки молодых ученых УрФУ в рамках реализации программы развития УрФУ.

Литература

1. Ю.Ф. Горин и др. Письма в ЖТФ, 1997, Т. 23, № 14, с. 35-39.
2. E.R. Baranova, et al. Solid State Ionic, 1999, №. 124, pp. 255-261.
3. N. Melnikova, et al. European Physical Journal. Web of Conferences, 2011, **15**, 03004.
4. О.Л. Хейфец, и др. Физика твердого тела, 2012, Т. 54, № 8, С. 1466-1469.
5. V. E. Zaikova, et al. J. Physics: Conf. Ser., 2014, V. 541, doi:10.1088/1742-6596/541/1/012104.
6. Пат. 2533551 РФ // МПК H01C 7/00, опубл. 20.11.2014, Бюл. № 32.

Постер/Краткое сообщение

ПОВЕРХНОСТНОЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ТАРИРОВОЧНЫХ ПЛАСТИН УСТАНОВКИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ «LASERMAT-4200»

Д.А. Полонянкин

Омский государственный технический университет; e-mail: polonjan@mail.ru

Повышение работоспособности изделий из конструкционной стали, функционирующих в высокотемпературных условиях, является актуальной научно-практической задачей современного материаловедения. Снижение уровня структурной деградации поверхности, имеющей место в этом случае, может быть достигнуто посредством ее магнетронного ионно-плазменного модифицирования, являющегося самостоятельным методом упрочнения материалов.

Моделирование теплонапряженного состояния поверхности, подвергающейся тепловому воздействию, позволяет прогнозировать характер структурных изменений в бинарной системе «сталь-покрытие». Модифицирование тарировочных пластин из стали 38Х2МЮА осуществлялось методом ионно-плазменного магнетронного распыления молибдена на установке ADVAVAC VSM-200. Выбор материала модификатора обусловлен его теплофизическими характеристиками – молибден обеспечивает эффективное снижение теплонапряженного состояния системы «сталь-молибден» [1]. Параметры режима модифицирования описаны в работе [2]. Сравнительный анализ микротвердости стали 38Х2МЮА до ($H_v=227$) и после модифицирования свидетельствует о ее повышении в 1,9 раза. Для исследования структуры модифицированных тарировочных пластин проводилось их сканирование на дифрактометре D8 Advance в $Cu_{K\alpha}$ – излучении в области углов $20-125^\circ$ (2θ). Полученные результаты свидетельствуют об образовании в поверхностном слое образцов карбида молибдена, что подтверждает эффективность его использования в качестве материала модификатора. Модифицированные молибденом тарировочные пластины прошли натурные испытания на установке лазерной резки «LaserMat-4200» на заводе металлоконструкций ООО НПО «Мостовик». Испытания показали значительное (не менее чем в 2 раза) увеличение межремонтных сроков эксплуатации, что позволило получить существенный экономический эффект. Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 13-08-98063-р_Сибирь_а.

Литература

1. Sputtered molybdenum films: Structure and property evolution with film thickness / A.M. Hofera, J. Schlacher, J. Keckes, J. Winkler, C. Mitterer // Vacuum. 2014. Vol. 99. P. 149-152.
2. Study microhardness steel 41CrAlMo7 modified by molybdenum / A.I. Blesman, D.A. Polonyankin, D.V. Postnikov // European Science and Technology: materials of the VII international research and practice conference, Munich, 2014. Vol. II. P. 411-414.

- 1. Балицкий Ярослав Владимирович.**
Московский Физико-Технический Институт (Государственный Университет).
- 2. Егоров Илья Андреевич.**
Пензенский государственный университет.
- 3. Классен Наталья Сергеевна.**
Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена.
- 4. Крылов Иван Владимирович.**
МГУ им. М.В.Ломоносова.
- 5. Петросян Тамара Константиновна.**
УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина.
- 6. Смирнова Нина Сергеевна.**
МГТУ им. Н.Э. Баумана.
- 7. Акинцов Николай Сергеевич.**
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет».
- 8. Бухарин Михаил Андреевич.**
ООО «Оптосистемы», Московский физико-технический институт
(государственный университет).
- 9. Вервикишко Павел Сергеевич.**
ОИВТ РАН.
- 10. Гонцова Светлана Сергеевна.**
Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского.
- 11. Грабовский Артем Юрьевич.**
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».
- 12. Дао Хонг Тхи.**
Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена.
- 13. Егорова Светлана Германовна.**
МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет.
- 14. Киктенко Евгений Олегович.**
МГТУ им. Н.Э. Баумана.
- 15. Ковыляева Екатерина Александровна.**
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».
- 16. Кононов Алексей Андреевич.**
РГПУ им. А. И. Герцена.

17. Матягина Анастасия Николаевна.

НИЯУ МИФИ.

18. Мирзорохимов Абдулло Алимахмадович.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия.

19. Молотков Вячеслав Иванович.

РУДН.

20. Палицын Илья Сергеевич.

Уральский федеральный университет.

21. Самадов Максуд Хамракулович.

ДжГПИ им. А.Кадыри, г. Джизак, Узбекистан; ОИЯИ, г.Дубна, Россия.

22. Худякова Елена Сергеевна.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР).

23. Черепанов Игорь Николаевич.

Санкт-Петербургский Государственный Университет.

24. Шайкомалова Елена Сергеевна.

Кемеровский Государственный Университет.

25. Шатихина Ирина Владимировна.

ГОУ ВПО Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена.

26. Юрин Константин Олегович.

НИЯУ МИФИ.

27. Бухарин Михаил Андреевич.

ООО "Оптосистемы", Московский физико-технический институт (государственный университет).

28. Дерев Николай Александрович.

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева.

29. Замковская Анастасия Игоревна.

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского.

30. Казиева Татьяна Вадимовна.

НИЯУ МИФИ.

31. Котова Мария Сергеевна.

МГУ имени М.В. Ломоносова.

32. Литвинова Анна Олеговна.

ФИАН, МГТУ им. Н. Э. Баумана.

33. Соколовский Дмитрий Николаевич.

Уральский Федеральный Университет.

34. Яковлева Екатерина Александровна.

Уральский федеральный университет, Институт Естественных Наук.

35. Абрикосов Алексей Алексеевич.

Московский Физико-Технический Институт.

36. Алыкова Алида Файзрахмановна.

ФГБОУ "Астраханский государственный университет".

37. Аникеев Михаил Андреевич.

НГУ.

38. Быков Александр Романович.

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина.

39. Вервикишко Дарья Евгеньевна.

ОИВТ РАН.

40. Данилова Нина Евгеньевна.

Северо-Кавказский федеральный университет.

41. Кротов Владимир Васильевич.

МГТУ им. Н. Э. Баумана.

42. Левченко Владимир Александрович.

Московский физико-технический институт.

43. Лобастов Борис Михайлович.

Сибирский федеральный университет, Институт Горного Дела,
Геологии и Геотехнологий.

44. Маслов Артемий Глебович.

МГТУ им. Н.Э. Баумана.

45. Мельников Владислав Владимирович.

МГТУ им. Баумана.

46. Новиков Александр Вячеславович.

ФГБОУ ВПО "Башкирский государственный университет",
Нефтекамский филиал.

47. Портнов Дмитрий Игоревич.

МГТУ им. Н.Э.Баумана.

48. Прокопович Павел Федорович.

ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет».

49. Рыбаков Александр Сергеевич.

ФИАН.

50. Савинов Виталий Дмитриевич.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

51. Сафина Гульнара Фриловна.

ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет»,
Нефтекамский филиал.

52. Семенова Юлия Александровна.

Северо-Кавказский федеральный университет.

53. Сорокин Юрий Сергеевич.

Омский государственный технический университет.

54. Спирин Олег Викторович.

ПетрГУ.

55. Зайкова Василиса Евгеньевна.

Уральский федеральный университет им. первого президента России
Б.Н. Ельцина.

56. Полонянкин Денис Андреевич.

ОмГТУ (Омский государственный технический университет).

Подписано в печать 20 февраля 2015 г.

Формат 70х100/16. Заказ № . Тираж 300 экз. П.л. 5.6.
Отпечатано в типографии ООО «Издательский Дом МФО».
Москва, В-333, Ленинский проспект, 53. Тел.: (499) 132 66 51