



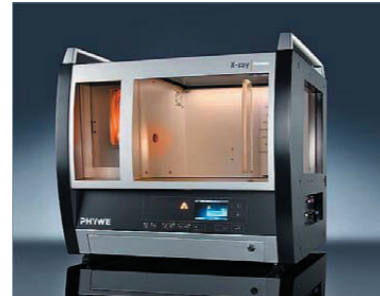
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«РУСУЧПРИБОР» – РЕПУТАЦИЯ И ОПЫТ

ООО «РУСУЧПРИБОР» осуществляет комплексные поставки учебного оборудования для оснащения кабинетов, лабораторий, мастерских «под ключ» по различным дисциплинам и направлениям подготовки. Ежегодно прайс-лист компании пополняется десятками новых изделий для обучения.

Предлагаются автоматизированные лабораторные стенды и установки физике:



«Эксперимент Франка–Герца с ртутной трубкой»



Установка XRE4.0 X-ray
(«Физика рентгеновских лучей»)



«Изучение процессов парообразования»



«Определение теплопроводности воздуха»

Стенды подключаются к компьютеру и интерактивной системе, что обеспечивает демонстрацию скрытых от непосредственного наблюдения переходных процессов

К поставке предлагается оборудование только лучших российских и зарубежных фирм-изготовителей. Техническая поддержка, методическое обеспечение – в комплекте.

ООО «РУСУЧПРИБОР» находится по адресу: 111024, г. Москва, ул.3-я Кабельная, д.1, стр.1,
тел.(495) 673-19-38, 673-20-32, 673-17-28, E-mail: office@rusuchpribor.ru, niokr@rusuchpribor.ru
<http://www.rusuchpribor.ru>

Физическое образование в вузах

Специальный выпуск

Труды конференции–конкурса молодых физиков

Москва, 2 марта 2016 г.

Под редакцией Н.В. Калачева и М.Б. Шапочкина

Издательский Дом Московского Физического общества

Физическое образование в вузах

Журнал «Физическое образование в вузах»

URL: <http://pinhe.lebedev.ru>

Совет журнала

Крохин Олег Николаевич – проф., академик РАН, ФИАН, НИЯУ МИФИ, главный редактор

Гладун Анатолий Деомидович – проф., МФТИ (ГУ), заместитель главного редактора

Калашников Николай Павлович – проф., НИЯУ МИФИ, заместитель главного редактора

Рудой Юрий Григорьевич – проф., РУДН

Шапочкин Михаил Борисович – проф., Московское физическое общество, заместитель главного редактора

Колесников Юрий Леонидович – проф., НИУ СПбИТМО (г. Санкт-Петербург)

Кудрявцев Николай Николаевич – проф., МФТИ (ГУ), член-корреспондент РАН

Стриханов Михаил Николаевич – проф., НИЯУ МИФИ

Сысоев Николай Николаевич – проф., МГУ им. М.В. Ломоносова

Хохлов Дмитрий Ремович – проф., МГУ им. М.В. Ломоносова, член-корреспондент РАН

Редакционная коллегия

Голубева Ольга Наумовна – проф., РУДН

Гороховатский Юрий Андреевич – проф., РГПУ им. А.И. Герцена (г. Санкт-Петербург)

Завестовская Ирина Николаевна – проф., ФИАН, НИЯУ МИФИ

Лебедев Владимир Сергеевич – проф., ФИАН, МФТИ (ГУ)

Морозов Андрей Николаевич – проф., НИУ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Песоцкий Юрий Сергеевич – проф., ассоциация «Марпут»

Пурьшева Наталия Сергеевна – проф., МПГУ

Салецкий Александр Михайлович – проф., МГУ им. М.В. Ломоносова

Спирин Геннадий Георгиевич – проф., МАИ

Стефанова Галина Павловна – проф., АГУ (г. Астрахань)

Ответственный секретарь

Калачев Николай Валентинович – проф., Финуниверситет, НИЯУ МИФИ, ФИАН

Техническая редакция

Березин Павел Дмитриевич – руководитель РИИС ФИАН

Алексеева Татьяна Валерьевна – инженер РИИС ФИАН

Алексеева Татьяна Викторовна – редактор РИИС ФИАН

© Издательский дом МФО, 2016 г.

УЧРЕДИТЕЛИ ЖУРНАЛА:
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКОЕ ФИЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ РАЗРАБОТЧИКОВ И ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ

Журнал зарегистрирован в Государственном комитете Российской Федерации по печати.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации № 019360 от 2 ноября 1999 г.

119991, Москва В-333,

Ленинский пр. 53,

Издательский дом МФО

E-mail: kalachev@sci.lebedev.ru

Телефоны: (499)132-66-51

Факс: (499)132-66-51

(499)132-64-11 Татьяна Валерьевна

Уважаемые коллеги!

Издательский дом Московского Физического общества продолжает подписку на журнал «Физическое образование в вузах». Учредителями журнала являются Министерство образования и науки РФ, Московское Физическое общество и МАРПУТ. Редколлегия журнала составили видные ученые-специалисты в области физического образования России и Минобороны РФ. Наш журнал двуязычный (принимаются статьи на русском и английском языках) и распространяется в странах СНГ.

Главный редактор журнала – академик Российской академии наук, профессор МИФИ, научный руководитель Высшей школы им. Н.Г. Басова НИЯУ МИФИ О.Н. Крохин.

Web страница журнала в сети Интернет: <http://pinhe.lebedev.ru>.

Основные разделы журнала

1. Концептуальные и методические вопросы преподавания общего курса физики в вузе, техникуме, колледже.
2. Вопросы преподавания курса общей физики в технических университетах.
3. Современный лабораторный практикум по физике.
4. Демонстрационный лекционный эксперимент.
5. Информационные технологии в физическом образовании.
6. Вопросы преподавания общего курса физики в педвузах и специальных средних учебных заведениях.
7. Текущая практика маломасштабного физического эксперимента.
8. Связь общего курса физики с другими дисциплинами.
9. Интеграция Высшей школы и Российской Академии наук.

УСЛОВИЯ ПОДПИСКИ

Стоимость подписки на год с 1 января 2016 г. – 3 000 рублей (не облагается НДС).

Банковские реквизиты ООО «Издательский дом МФО»:

р/с № 40702810038280100249 в Московском банке, Сбербанк России ПАО,

г. Москва. к/с № 30101810400000000225, БИК 044525225, ИНН № 7736045853, КПП 773601001.

В платежке указать назначение платежа «За подписку на журнал» и точный адрес для рассылки.

КОНФЕРЕНЦИЯ-КОНКУРС МОЛОДЫХ ФИЗИКОВ

2 марта 2016 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 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 59 докладов, присланные авторами, представляющими более 43 вузов и НИИ из 23 городов Российской Федерации, Белоруссии 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
Воронов А.А., к.ф.-м.н. – проректор МФТИ
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

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

Смилга А. – Université de Nantes, Nantes, France

Селезнёв Л.В., к.ф.-м.н. – помощник директора ФИАН

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

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

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

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

9-00–10-00 – **регистрация** участников и вывешивание стендовых докладов

10-00–10-15 – **пленарное заседание** (ведущий проф. М.Б. Шапочкин)

Приветствие от ФИАН – проф. С.Ю. Савинов

Приветствие от жюри – И.Э. Булыженков, В.А. Грибков, А.Н. Морозов

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

Секция «Фундаментальная физика»: ведущий И.Э. Булыженков, В.А. Грибков

10-15–12-00 – Пленарное заседание.

Докладчики:

1. *Агафонов Лев Юрьевич.* Уральский федеральный университет. Исследование процесса самоорганизации в магнитной среде.
2. *Султанов Максим Андреевич.* Пензенский государственный университет. Контролируемый рост квантовых точек из коллоидного золота в условиях диссипативного туннелирования.
3. *Жукас Людмила Александровна.* Международный Томографический Центр СО РАН. Исследование высокоспиновых парамагнитных систем с большим расщепление в нулевых магнитный полях методом ЭПР спектроскопии.
4. *Ивлиев Павел Алексеевич.* МГТУ им Н.Э. Баумана. Диэлектрические характеристики углеродных нанотрубок.
5. *Молотков Вячеслав Иванович.* РУДН. Описание лагранжиана барионного и лептонного секторов в 8-спиновой модели.
6. *Соколовский Дмитрий Николаевич.* Уральский федеральный университет. Фазовые превращения углеродных нанотрубок при высоких давлениях.
7. *Страхова Анастасия Андреевна.* Национальный минерально-сырьевой университет

«Горный». Функция распределения электронов в плазме с произвольной степенью симметрии.

12-00–12-45 – кофе брейк и ознакомление со стендовыми докладами

12-45–13-30 – Заслушивание **презентаций** кратких сообщений секции
«**Фундаментальная физика**»

Секция «Прикладная физика»: вед. Г.В. Голубков, А.Н. Морозов

13-30–15-00 – Пленарное заседание.

Докладчики:

1. *Дуплинский Александр Валерьевич.* Российский квантовый центр. Разработка промышленного устройства для квантового распределения ключа.

2. *Лизякин Геннадий Дмитриевич.* ОИВТ РАН. Исследование радиального распределения потенциала плазмы в газовом разряде постоянного тока в аксиальном магнитном поле.

3. *Мирзорохимов Абдулло Алимахмадович.* Уральский Федеральный Университет. Влияние высоких давлений на электрические свойства оксидов $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$ с гигантским значением диэлектрической проницаемости.

4. *Станчик Алёна Викторовна.* ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению». Морфология и топология электроосажденных прекурсоров Cu-Zn-Sn для солнечных элементов на основе $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$.

5. *Тысячных Юрий Владимирович.* Физический институт академии наук им. Лебедева. Исследование эффекта экранирования магнитного поля при помощи высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП).

15-00–15-45 – кофе брейк и ознакомление со стендовыми докладами

15-45–16-30 – Заслушивание **презентаций** кратких сообщений секции
«**Прикладная физика**»

Секция «Инновации и техническое предпринимательство»: вед. М.Б. Шапочкин

16-30–17-00 – Пленарное заседание.

Докладчики:

1. *Вервикишко Павел Сергеевич.* ОИВТ РАН. Синтез углеродного нанопорошка из графита методом лазерного нагрева.

2. *Сивцова Ольга Николаевна.* АО «ТИОН Умный микроклимат». Изучение кинетических характеристик сорбента CO_2 на основе K_2CO_3 . Разработка модуля очистки воздуха в замкнутых помещениях.

17-00–17-30 – Заслушивание **презентаций** кратких сообщений секции
«**Инновации и техническое предпринимательство**»

17-30–18-00 – 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 «Лучшая работа по секции инноваций и технического предпринимательства» призовой фонд 25 тысяч рублей,
- в номинации «Лучший стендовый доклад» призовой фонд 10 тысяч рублей.

Премиальный фонд финансирует ГОУ ВПО 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

УДК 539.216.2:537.611.3

Исследование процесса самоорганизации в магнитной среде

Лев Юрьевич Агафонов, Дмитрий Сергеевич Мехоношин,
Лидия Алексеевна Памятных, Пётр Игоревич Геревенков

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Институт естественных наук, 620083, Екатеринбург, пр. Ленина 51;
e-mail: Lev.Agafonov@urfu.ru

Работа посвящена исследованию явления самоорганизации в магнетиках, проявляющегося в формировании в магнитном поле динамических доменных структур со сложной пространственной и временной организацией. Представлены результаты исследования динамики спиральных доменов, полученные на эпитаксиальной плёнке (111) феррита-граната в гармоническом магнитном поле звуковых частот, ориентированном перпендикулярно плоскости образца. С применением высокоскоростной видеосъёмки и программного распознавания динамической доменной структуры получены распределения радиусов спиральных динамических доменов при вариации температуры в диапазоне 77–350 К и установлен характер их изменения.

Ключевые слова: самоорганизация, магнитные домены, тонкие плёнки, ферриты-гранаты.

Явление самоорганизации в нелинейных динамических системах описано в [1]. В магнитных средах явление самоорганизации было обнаружено в эпитаксиальных плёнках ферритов-гранатов, в которых наблюдали формирование устойчивых динамических доменных структур (ДДС) [2]. Благодаря достигнутому в последние годы прогрессу в технике эксперимента, применению высокоскоростной видеосъёмки, стробоскопической методики, а также программной обработке изображений, появились новые возможности в исследовании самоорганизации магнитных динамических доменных структур.

Сообщаются результаты исследования ДДС в эпитаксиальной плёнке (111) феррита-граната $(\text{YLuBi})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ в гармоническом магнитном поле, ориентированном перпендикулярно плоскости образца. Магнитная доменная структура визуализирована при помощи магнитооптического эффекта Фарадея, видеозахват выполнен на скорости до 1000 fps. На экспериментальных видеороликах программно

проанализировано более 20 000 спиральных динамических доменов (рисунок 1а). Установлен характер изменения распределения радиусов R спиральных динамических доменов с изменением температуры T (рисунок 1б). С повышением температуры в интервале 77–275 К средний радиус R практически линейно уменьшается, а в диапазоне 275–350 К – практически не изменяется, при этом размах распределения значений R монотонно сужается с увеличением T .

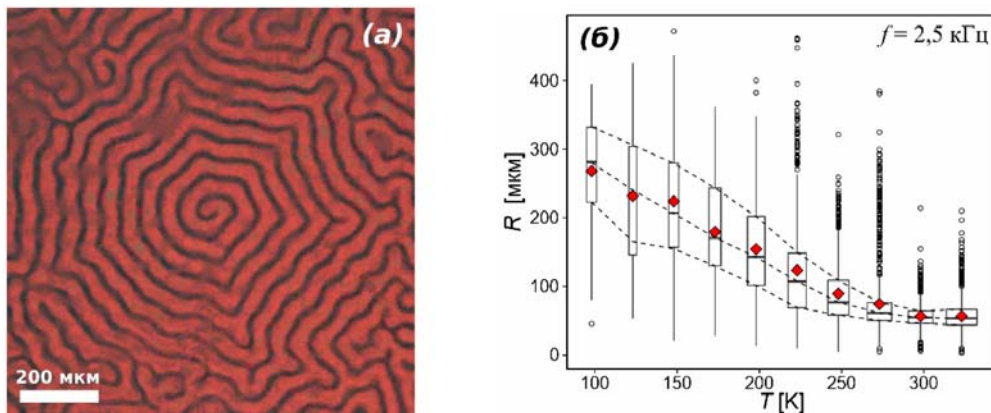


Рисунок 1. (а) – спиральный динамический домен; (б) – диаграмма размаха распределения радиусов ДДС.

Литература

1. Пригожин И. От существующего к возникающему. – М.: Наука, 1985. – 282 с.
2. Кандаурова Г.С. // Успехи Физических Наук. 2002. Т. 172, № 10. С. 1165–1187.

Investigation of Self-Organization Process in Magnetic Medium

L.Y. Agafonov, D.S. Mekhonoshin, L.A. Pamyatnykh, P.I. Gerevenkov

*Ural Federal University, Institute of Natural Sciences
620083, Yekaterinburg, Russia, 51 Lenin av.; e-mail: Lev.Agafonov@urfu.ru*

Received December 25, 2015

PACS: 75.60.Ch, 75.70.Ak

The current work is devoted to investigation of self-organization phenomena in magnetics under action of magnetic field, that appears as formation of dynamic domain structures with complex spatiotemporal organization. Presented results of investigation of dynamic spiral magnetic domains were obtained on epitaxial (111) iron garnet film placed in harmonic magnetic field of sound frequencies oriented perpendicularly to the sample surface. High-speed video recording and program recognition of dynamic domain structure allowed to obtain distributions of spiral dynamic domains radii through temperature range 77–350 K and establish character of their change.

Keywords: self-organization, magnetic domains, thin films, iron garnets.

References

1. Prigozhin I. From Being to Becoming. – W.H. Freeman and Company, 1980. – 272 p.
2. Kandaurova G.S. New phenomena in the low-frequency dynamics of magnetic domain ensembles // Physics-Uspekhi, 2002, vol. 45, n.10, Pp. 1051–1072.

Контролируемый рост квантовых точек из коллоидного золота в условиях диссипативного туннелирования

Владимир Дмитриевич Кревчик¹, Михаил Борисович Семенов²,
Дмитрий Олегович Филатов³, Павел Владимирович Кревчик⁴,
Илья Андреевич Егоров⁵, Ирина Константиновна Скоросова⁶,
Максим Андреевич Султанов⁷, Илья Сергеевич Антонов⁸,
Иван Михайлович Семенов⁹

^{1,2,4,5,6,7,8,9} Пензенский государственный университет, Факультет приборостроения,
информационных технологий и электроники
440026, г. Пенза, ул. Красная, д. 40; e-mail: physics@pnzgu.ru

³ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

В работе установлено качественное соответствие экспериментальных туннельных вольт-амперных характеристик для растущих квантовых точек из коллоидного золота в системе совмещенного АСМ/СТМ с рассчитанной теоретической кривой полевой зависимости вероятности 2D – диссипативного туннелирования с учетом влияния двух локальных фононных мод широкозонной матрицы.

Ключевые слова: квантовые точки из коллоидного золота, диссипативное туннелирование.

В работе получены туннельные вольт-амперные характеристики для растущих квантовых точек из коллоидного золота в системе совмещенного атомно-силового и сканирующего туннельного микроскопа. Предполагается, что основной вклад в туннельный ток вносит ионная проводимость. Проведено качественное сравнение экспериментальных туннельных вольт-амперных характеристик с рассчитанной теоретической кривой полевой зависимости вероятности 2D – диссипативного туннелирования с учетом влияния двух локальных фононных мод широкозонной матрицы. Установлено качественное соответствие экспериментальной и теоретической кривых, что свидетельствует о возможном вкладе механизма диссипативного туннелирования в туннельный ток через растущую квантовую точку под иглой кантилевера, который может быть усилен в кластерах размером от 1 до 5 нм в более тонких пленках.

Установлено, что ионный механизм проводимости будет преобладать над туннельным, когда величина напряженности наведенного электрического поля положительных ионов золота превысит величину напряженности внешнего электрического поля. Теоретически разработан и экспериментально апробирован метод контролируемого роста КТ из коллоидного золота в системе совмещенного АСМ/СТМ для целей прецизионной наноэлектроники и наномедицины.



Рисунок 1. Качественное сравнение теоретической кривой 1 полевой зависимости вероятности 2d диссипативного туннельного переноса в рамках рассмотренной модели и экспериментальной ВАХ (кривая 2) растущей квантовой точки из коллоидного золота под иглой кантилевера АСМ/СТМ.

Литература

1. Управляемое диссипативное туннелирование. Туннельный транспорт в низкоразмерных системах / Под ред. Э. Леггета, В.Д. Кривчика, М. Б. Семёнова и др. М., 2012.

The Controlled Growth of Quantum Dots of Colloidal Gold in a Dissipative Tunneling

¹V.D. Krevchik, ²M.B. Semenov, ⁴P.V. Krevchik, ⁵I.A. Egorov, ⁶I.K. Skorosova,

⁷M.A. Sultanov, ⁸I.S. Antonov, ⁹I.M. Semenov

*Faculty of Engineering, IT and Electronics, Department of Physics,
Penza State University, Krasnaya 40, Penza 440026, Russia; e-mail: physics@pnzgu.ru*

³D.O. Filatov

*Faculty of Physics, Nizhny Novgorod State University named after NI. Lobachevski,
Nizhny Novgorod, Gagarina avenue 43, Nizhny Novgorod 603950, Russia*

Received January 14, 2015

PACS: 03.65 Xp, 31.15 Xg, 73.40 Gk, 82.20 Xr

A qualitative agreement between the experimental tunnel current-voltage characteristics for growing quantum dots of colloidal gold in the combined AFM / STM with the theoretical curve for field dependence of the 2D – dissipative tunneling probability with the influence of two local phonon modes account in the wide-band matrix, has been obtained.

Keywords: golden quantum dots, dissipative tunneling.

References

1. Controlled dissipative tunneling. Tunnel transport in low-dimensional systems / Ed. E. Leggett, VD Krevchik, MB Semenov and others. M., 2012.

Исследование высокоспиновых комплексов кобальта (I,II) с большим значением расщепления в нулевом магнитном поле методом терагерцовой ЭПР спектроскопии с разверткой по частоте

Людмила Александровна Жукас^{1,2}

¹Международный Томографический Центр СО РАН, лаборатория магнитного резонанса 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, д. 3а

²Новосибирский Государственный Университет 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2; e-mail: Luidmila.Jhukas@tomo.nsc.ru

С помощью стандартной ЭПР спектроскопии, а также терагерцовой ЭПР спектроскопии с разверткой по частоте определены значения расщепления в нулевом поле и величина g -тензора высокоспиновых комплексов кобальта

Ключевые слова: расщепление в нулевом поле (РНП), ЭПР спектроскопия, комплексы кобальта.

Парамагнитные системы, характеризующиеся полным спином $S > 1/2$ и большим значением энергии расщепления в нулевом магнитном поле (РНП) активно синтезируются и исследуются во всем мире, поскольку потенциально могут являться молекулярными ячейками хранения данных для создания более емких носителей информации.

Наиболее популярным методом определения характерных энергий РНП данных объектов является ЭПР спектроскопия в виду простоты проведения эксперимента и высокой точности измерения параметров РНП. Однако в случае больших значений РНП (например, РНП $> 10 \text{ см}^{-1}$) эта методика неприменима, т.к. энергия кванта СВЧ недостаточна для детектирования резонансных спиновых переходов.

С целью преодоления возникающих ограничений, в данной работе использован метод измерения параметра РНП с использованием ЭПР спектрометра [1], собранного в синхротронном центре BESSY2 (Берлин, Германия). Установка позволяет использовать альфа-моду синхротронного излучения вкупе с внутренним источником ИК-Фурье спектрометра, позволяя покрыть частотный диапазон от 200 см^{-1} вплоть до 5 см^{-1} , что соответствует характерным энергиям резонансных спиновых переходов при наличии РНП. С помощью данного метода, а также стандартной X-band ЭПР спектроскопии было исследовано шесть типов комплексов кобальта(II) ($S = 3/2$) и комплекс кобальта(I) ($S = 1$) с предполагаемыми большими значениями РНП: от 10 до 200 см^{-1} . В ходе исследований для некоторых комплексов удалось определить значение РНП, а также g -тензор. Полученные данные важны для экспериментов по изучению

спиновой динамики путем лазерной накачки спиновых уровней с одновременным регистрированием ЭПР-сигнала в X-диапазоне (новосибирский лазер на свободных электронах (НЛСЭ), Институт Ядерной Физики СО РАН). Результаты, полученные на НЛСЭ, также обсуждаются в данной работе.

Благодарности

Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (15-03-07640).

Литература

1. Schnegg, A.; Behrends, J.; Lips, K.; Bittl, R.; Holldack, K. // Phys. Chem. Chem. Phys., v. 11. 2009. P. 6820.

EPR Study of Large Zero Field Splitting in Cobalt (I,II) Complexes

L.A. Zhukas^{1,2}

¹ International Tomography Center SB RAS
630090, Novosibirsk, Institutskaya str. 3a;
e-mail: Luidmila.Jhukas@tomo.nsc.ru

² Novosibirsk State University, 630090, Novosibirsk, Pirogova str. 2

Received January 14, 2016

PACS: 32.30.Dx

Zero Field Splitting parameters and g-tensor value of high spin cobalt complexes are defined by EPR spectroscopy.

Keywords: Zero Field Splitting (ZFS), EPR spectroscopy, cobalt complexes.

References

1. Schnegg, A.; Behrends, J.; Lips, K.; Bittl, R.; Holldack, K. // Phys. Chem. Chem. Phys., v. 11. 2009. P. 6820.

Диэлектрические характеристики углеродных нанотрубок

Павел Алексеевич Ивлиев

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5; e-mail: ivliev-pavel@mail.ru

Представлены результаты теоретического исследования радиального распределения электронной плотности одностенной углеродной нанотрубки металлического типа с учётом межэлектронного взаимодействия в приближении прямого кругового цилиндра при наличии внешнего электромагнитного поля. Расчет искомой характеристики проведен методами теории функционала плотности. Найдена явная зависимость электронной плотности от амплитуды и частоты падающего излучения. Получена частотная зависимость диэлектрической проницаемости нанотрубки.

Ключевые слова: электронная плотность, углеродные нанотрубки, радиальное распределение, нанотрубка в электромагнитном поле, диэлектрическая проницаемость.

Нанотрубки демонстрируют спектр самых неожиданных электрических, магнитных, оптических свойств, которые наряду с геометрическими параметрами делают их перспективным конструкционным материалом для современной наноэлектроники. Для оценки диэлектрической проницаемости необходимо иметь зависимость электронной плотности от частоты приложенного внешнего поля.

Рассмотрим нанотрубку в приближении цилиндрически симметричной потенциальной ямы. Поиск распределения электронной плотности осуществлен DFT методом. Для его реализации найдена функциональная зависимость полной энергии системы $E[n]$ от плотности электронов. Поскольку магнитная составляющая электромагнитной волны не вносит вклад во внутреннюю энергию системы, она исключена из рассмотрения.

$$E[n] = T[n] + V_{\text{пост}}[n] + V_{\text{пер}}[n] + W[n] + G[n, \square n],$$

На основании теорем Кона – Хоэнберга утверждается: минимуму функционала $E[n]$, представленной системы, должна соответствовать искомая зависимость $n(r)$:

$$\frac{2}{3} \pi r^3 n^3(r) + \frac{1}{2} (3\pi^2)^{2/3} n(r) - \frac{1}{36} \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial n(r)}{\partial r} \right) \right\} + \frac{1}{72} \frac{\partial n(r)}{\partial r} + \left\{ \cos \left(\frac{\omega}{c} (ct - r) \right) - E_0 \cos(\omega t) \right\} n(r) = 0.$$

Проведённый анализ показывает, что электронная плотность одностенной углеродной нанотрубки, при определенном значении интенсивности, становится комплексной величиной, что соответствует поглощению энергии электромагнитного поля. Рассмотрим диэлектрическое поведение электронного газа при внешнем возмущении. При наличии внешнего электромагнитного поля, возникают колебания электронной плотности. Согласно [1] можно получить вид выражения диэлектрической проницаемости в зависимости от электронной плотности нанотрубки:

$$\varepsilon(\omega, r) = 1 + \frac{4\pi\sqrt{e}}{m\omega^2} n(r) \dots \quad (1)$$

Рассчитанные с помощью формулы (1) значения действительной и мнимой частей показателя преломления, а также коэффициента отражения, находятся в полном соответствии с экспериментальными значениями этих величин [2, 3].

Литература

1. Харрисон У. Теория твердого тела. — М.: Мир, 1972. 616 с.
2. Shi H., Baas H.W., Guo L.J. Low density carbon nanotube forest as an index-matched and near perfect absorption coating // Applied Physics Letters, **99**, pp. 211103–211106(2011).
3. Maine S. Complex optical index of single wall carbon nanotube films from the near-infrared to the terahertz spectral range // Applied optics, Vol 51, Issue 15, pp. 3031–3035(2012).

Dielectric Characteristics of Carbon Nanotubes

P.A. Ivliev

Bauman Moscow State Technical University
105005, Moscow, 2-th Baumanskaya, 5; e-mail: ivliev-pavel@mail.ru

Received December 25, 2016

PACS: 42.50

Results of theoretical research of radial distribution of electronic density of a one-wall carbon nanotube of metal type taking into account interelectronic interaction in approach of the direct circular cylinder in the presence of an external electromagnetic field are presented. Calculation of the required characteristic is carried out by methods of the theory of functionality of density. Obvious dependence of electronic density on amplitude and frequency

of the falling radiation is found. Frequency dependence of dielectric permeability of a nanotube is received.

Keywords: the electronic density, carbon nanotubes, radial distribution, a nanotube in an electromagnetic field, dielectric permeability.

References

1. *Harrison U.* Theory of a solid body. — М.: World, 1972. 616 p. [in Russian].
2. *Shi H., Baac H.W., Guo L.J.* Low density carbon nanotube forest as an index-matched and near perfect absorption coating // Applied Physics Letters, **99**, pp. 211103—211106(2011).
3. *Maine S.* Complex optical index of single wall carbon nanotube films from the near-infrared to the terahertz spectral range // Applied optics, Vol. 51, Issue 15, pp. 3031—3035(2012).

Описание лагранжиана барионного и лептонного секторов в 8-спинорной модели

Вячеслав Иванович Молотков

Российский университет дружбы народов,
Кафедра теоретической физики и механики,
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Россия; e-mail: molotvi@gmail.com

Рассматривается для описания элементарных частиц топологическими зарядами модель Т.Х.Р. Скимма (1954 г.), описывающая внутреннюю структуру барионов и легких ядер, и модель Фаддеева (1972 г.), описывающая лептоны. В настоящей работе предлагается выписать функцию Лагранжа для гомотопических групп $\pi_3(S^2)$ и $\pi_3(S^3)$, которые описывают барионы и лептоны.

Ключевые слова: 8-спинор, топологический заряд, солитоны, гомотопические группы, тождество Бриоски, модель Скимма-Фаддеева.

Для объединения в рамках 8-спинорной модели двух подходов используется специальное 8-спинорное тождество Бриоски [1]:

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

В этом тождестве используются следующие квадратичные спинорные величины:

$$s = \bar{\psi}\psi, \quad p = i\bar{\psi}\gamma_5\psi, \quad \bar{v} = \bar{\psi}\lambda\psi, \\ \bar{a} = i\bar{\psi}\gamma_5\lambda\psi, \quad j_\mu = \bar{\psi}\gamma_\mu\psi, \quad \tilde{j}_\mu = \bar{\psi}\gamma_\mu\gamma_5\psi,$$

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 этом пространстве обнаружены группы симметрий [2], 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:

$$\psi = \text{col}(iC, iC, C, C),$$

где $C = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix}$, $C_1, C_2 \in \mathbb{C}$.

По аналогии с [3] используется следующий интеграл для описания 8-спинорной модели:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2\lambda^2} \overline{D_\mu \psi} \gamma^\alpha j_\alpha D^\mu \psi + \frac{\varepsilon^2}{4} f_{\mu\nu} f^{\mu\nu} - V(j_\mu j^\mu) - \frac{1}{16\pi} F_{\mu\nu}^2,$$

где $D_\mu = \partial_\mu \psi - ie_0 A_\mu \Gamma_6 \psi$ – ковариантная производная, $V(j_\mu j^\mu) = \frac{\sigma^2}{8} (j_\mu j^\mu - \kappa^2)^2 -$

потенциал Хиггса и $f_{\mu\nu} = (\overline{\psi}\gamma^\alpha D_{[\mu})(\overline{D_{\nu]}\psi}\gamma^\alpha\psi)$ – антисимметричный тензор типа Скирма-Фаддеева.

Модель предполагает на бесконечности $|r| \rightarrow \infty$ граничные условия:

$$\psi \rightarrow \psi_V, \quad j_\mu j^\mu \rightarrow \kappa^2, \quad A_\mu \rightarrow 0.$$

Для выполнения, которых требуется, чтобы генератор Γ_ϵ удовлетворял следующим условиям:

$$\Gamma_\epsilon \psi_V = 0, \quad \Gamma_\epsilon^2 = \Gamma_\epsilon.$$

Используя найденное выражение для вакуума, определяем вид для генератора Γ_ϵ :

$$\Gamma_\epsilon = I_4 \otimes \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Для лептонов и барионов был найден явный вид спинорной части лагранжиана:

$$\mathcal{L}_1 = \overline{D_\mu \psi} \gamma^\alpha j_\alpha D^\mu \psi = 4(\xi^+ \xi + \theta^+ \theta) [D_\mu \xi^+ D^\mu \xi + D_\mu \theta^+ D^\mu \theta].$$

Аналогично для вакуумного состояния:

$$\mathcal{L}_{V1} = \overline{D_\mu \psi_V} \gamma^\alpha j_\alpha D^\mu \psi_V = 16(C_1^* C_1 + C_2^* C_2) [D_\mu C_1^* D^\mu C_1 + D_\mu C_2^* D^\mu C_2],$$

где C_1 и C_2 – комплексные величины, описывающие вакуумное состояние.

Так как C_1 и C_2 константы и $\Gamma_\epsilon \psi_V = 0$, ковариантная производная в вакууме обращается в ноль. Таким образом, σ -член лагранжиана в вакууме тождественно равен нулю:

$$\mathcal{L}_{V1} \equiv 0.$$

Литература

1. Молотков В.И. Рыбаков Ю.П. Описание барионного и лептонного секторов в 8-спинорной модели элементарных частиц. Физическое образование в вузах. Труды конференции-конкурса молодых физиков. Т. 21, № 1С, 2015. ISSN 1609-3143.
2. Molotkov V.I. Description of Lepton and Baryon Phases in Skyrme-Faddeev Spinor Model. Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series Mathematics. Information Sciences. Physics, [S. 1.], n. 2, pp. 73-77, May. 2015. ISSN 2312-9743.
3. Rybakov Yu.P. Soliton configurations in generalized Mie electrodynamics. Phys. of Nuclei 74, № 7, pp. 1102-1105, 2011.

Description of Lagrangian Density of Lepton and Baryon Phases in 8-Spinor Model

V.I. Molotkov

*Department of Theoretical Physics and Mechanics
Peoples' Friendship University of Russia
117198 Moscow, 6, Miklukho-Maklay str., Russia;
e-mail: molotvi@gmail.com*

Received January 12, 2016

PACS: 11.10

The Skyrme's idea (1954) describes baryons as topological solitons was based on the identification of baryon number with the topological charge. The similar idea to describe leptons as topological solitons was announced by Faddeev (1972). In the present paper we try to construct Lagrange density for homotopy groups $\pi_3(S^2)$ and $\pi_3(S^3)$, which describe lepton and baryon phases.

Keywords: 8-spinor; topological charge; solitons; homotopy groups; Brioschi identity; Skyrme-Faddeev model.

References

1. *Molotkov V.I., Rybakov Yu.P.* Description of Lepton and Baryon sectors in 8-spinor model. Physics in Higher Education. Vol. 21, № 1C, 2015. ISSN 1609-3143 [in Russian].
2. *Molotkov V.I.* Description of Lepton and Baryon Phases in Skyrme-Faddeev Spinor Model. Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series Mathematics. Information Sciences. Physics, [S.l.], n. 2, pp. 73-77, May. 2015. ISSN 2312-9743.
3. *Rybakov Yu.P.* Soliton configurations in generalized Mie electrodynamics. Phys. of Nuclei 74, № 7, pp. 1102-1105, 2011.

Фазовые превращения углеродных нанотрубок при высоких давлениях

Дмитрий Николаевич Соколовский, Яна Юрьевна Волкова,
Павел Сергеевич Зеленовский, Алексей Николаевич Бабушкин

Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина
620000, г. Екатеринбург, проспект Ленина, 51; e-mail: dmitry91sokol@gmail.com,
Yana.Volkova@urfu.ru, zelenovskiy@urfu.ru, Alexey.Babushkin@urfu.ru

В данной работе представлены результаты исследования фазовых переходов, происходящих в двустенных углеродных нанотрубках при давлениях до 50 ГПа в проводящих алмазных камерах высокого давления. Проанализировано влияние высокого давления на структуру внутренней и внешней трубок.

Ключевые слова: углеродные материалы, высокие давления, фазовые переходы, углеродные нанотрубки.

В связи с широкими перспективами применения углеродных наноструктур в различных отраслях промышленности, исследования структурных особенностей и свойств данных материалов представляет фундаментальный и прикладной интерес [1].

В то же время, известно об образовании новых фаз высокого давления, обладающих высокой твердостью сопоставимой с алмазом. Эксперименты с одностенными углеродными нанотрубками показали, что в результате воздействия негидростатическим давлением ~24 ГПа может быть получена сверхтвердая фаза углерода [2]. Подобное превращение сопровождается необратимыми изменениями в спектрах КР. Известно, что многие 2D и 3D структуры, возникающие при воздействии высокого давления на углеродные нанотрубки, остаются стабильными после снятия нагрузки [3].

Для исследования электрических характеристик изучаемых образцов использовалась камера высокого давления с алмазными наковальнями типа «закругленный конус-плоскость». Методика позволяет изучать образец при последовательном увеличении и снижении давления, выдерживать его под нагрузкой в течение длительного времени.

При исследовании образца, подвергнутого обработке высоким давлением (~50 ГПа), был получен спектр КР, представленный на рисунке. В данном случае можно говорить о некоторой новой фазе углерода, образовавшейся под действием высокого давления.

Наблюдаемая картина может быть вызвана 3D полимеризацией углеродных нанотрубок: превращение сопровождается необратимыми изменениями в спектрах КР

[2, 3], частотные группы новой фазы согласуются с особенностями исходных двустенных нанотрубок, с расширением G (1590 см^{-1}) и D (1321 см^{-1}) линий спектра.

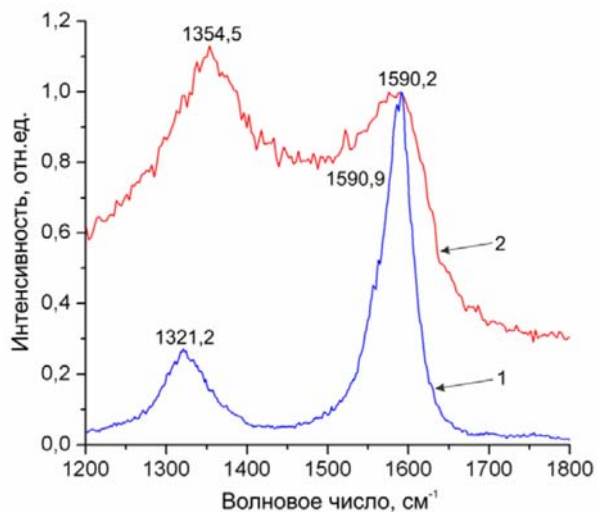


Рисунок. Спектры КР двустенных углеродных нанотрубок:

- 1 – нанотрубки до обработки высоким давлением,
2 – новая фаза, образовавшаяся под действием давления 50 ГПа.

Литература

1. *Chen J.-Y. et al.* High structural stability of single wall carbon nanotube under quasi-hydrostatic high pressures // *Chemical Physics Letters*, n. 479, 2009. p. 91–94.
2. *Popov M., Kyotani M. et al.* Superhard phase composed of single-wall carbon nanotubes // *Phys. Rev. B*, v. 65, n. 3, 2002. – 033408.
3. *Zhao Z. S., Zhou X. F. et al.* High-pressure behaviors of carbon nanotubes // *Journal of Superhard Materials*, v. 34, n. 6, 2013. p. 371–385.

Phase Transformations of Carbon Nanotubes at High Pressures

D.N. Sokolovsky, Ya.Yu. Volkova, P. S. Zelenovsky, A. N. Babushkin

Ural Federal University

Lenina Avenue 51, Ekaterinburg 620000, Russia;

e-mail: dmitry91sokol@gmail.com

Received January 14, 2016

PACS: 64.70

Results from experimental study of the phase transitions occurring in the double-walled carbon nanotubes in conducting diamond high-pressure chambers at pressures of up to 50 GPa and room temperature are presented. The effect pressure has on the structure of the inner and outer tubes are analyzed.

Keywords: carbon materials, high pressures, phase transitions, carbon nanotubes.

References

1. *Chen J.-Y. et al.* High structural stability of single wall carbon nanotube under quasi-hydrostatic high pressures // *Chemical Physics Letters*, n. 479, 2009. p. 91–94.
2. *Popov M., Kyotani M. et al.* Superhard phase composed of single-wall carbon nanotubes // *Phys. Rev. B*, v. 65, n. 3, 2002. – 033408.
3. *Zhao Z. S., Zhou X. F. et al.* High-pressure behaviors of carbon nanotubes // *Journal of Superhard Materials*, v. 34, n. 6, 2013. p. 371–385.

Функция распределения электронов в плазме с произвольной степенью симметрии

Анастасия Андреевна Страхова, Александр Сеит-Умерович Мустафаев,
Артем Юрьевич Грабовский

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»
199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия В.О., д. 2;
e-mail: anastasia__spb@mail.ru, alexmustafaev@yandex.ru, schwer@list.ru

В работе дальнейшее развитие получил метод плоского одностороннего зонда, позволяющий реконструировать полную функцию распределения электронов по скоростям в аксиально-симметричной неравновесной плазме с произвольной степенью анизотропии. Метод усовершенствован для диагностики плазмы без предположения какой-либо ее симметрии. Развита теория метода и получены аналитические соотношения, связывающие лежандровы компоненты второй производной зондового тока по потенциалу зонда и функции распределения электронов. Метод экспериментально апробирован в плазме положительного столба гелиевого тлеющего разряда. Продемонстрированы новые возможности метода по исследованию плазмы вблизи границ и получена новая, нетрадиционная информация о процессах ухода заряженных частиц на стенки.

Ключевые слова: функция распределения электронов, плоский зонд, радиальное электрическое поле, конус потерь, парадокс Ленгмюра.

Одной из актуальных фундаментальных проблем физики газоразрядной плазмы является так называемый «парадокс Ленгмюра» в плазме низкого давления, который известен давно и широко дискутируется в литературе [1-5].

В работе Л.Д. Цендина [6] предпринята попытка объяснить «парадокс Ленгмюра» в плазме низкого давления. В результате сделан вывод, что основным механизмом, определяющим вид функции распределения электронов по скоростям (ФРЭС) в плазме низкого давления, является уход электронов на стенки, который определяется упругим рассеянием электронов в так называемый «конус потерь».

Первые систематические экспериментальные исследования ФРЭС в условиях существования «парадокса Ленгмюра» проведены Ю.М. Каганом с сотрудниками [7]. Их результатом явился вывод о неизвестном «стеночном» механизме максвеллизации ФРЭС.

В работе [8] представлены результаты серии экспериментов, в которых использовался сферический и цилиндрический зонд, расположенный перпендикулярно оси трубки. При такой ориентации цилиндрический зонд не «чувствует» конус выхода, и максвелловские ФРЭС были зарегистрированы в широком диапазоне энергий. При измерениях цилиндрическим зондом, расположенным в центре трубки параллельно

оси разряда, было обнаружено сильное обеднение второй производной зондового тока при потенциале зонда выше стеночного. Наиболее отчетливо обеднение, связанное с уходом электронов, наблюдалось в [8] при измерениях плоским стеночным зондом. В работе [9] также отмечались различия в регистрируемых вторых производных при ориентациях цилиндрического зонда вдоль и поперек оси разряда.

Первые целенаправленные исследования конуса потерь электронов проведены авторами работы [10]. Эксперимент проводился в высокочастотном разряде в аргоне. Функция распределения электронов регистрировалась с помощью плоского зонда на расстоянии 1 см от стенки. Установлено, что с ростом энергии электронов на диаграммах направленности появляются характерные особенности, связанные с обеднением ФРЭС вследствие ухода электронов из плазменного объема.

Для того, чтобы зарегистрировать конус потерь и продвинуться в изучении «парадокса Ленгмюра» необходимы новые надежные методы диагностики, позволяющие регистрировать ФРЭС с угловым разрешением вблизи границ плазменного объема, измерять радиальные профили электрического поля, пристеночные скачки потенциала, концентрацию электронов и т.д.

Для решения этой проблемы нами предложен и экспериментально апробирован новый зондовый метод диагностики плазмы с произвольной степенью симметрии. Получены первые результаты, подтверждающие результаты выводы [6, 10].

Теория

На сегодняшний день метод плоского одностороннего зонда [11] позволяет получать наиболее полную информацию о свойствах неравновесной анизотропной плазмы. Он подразумевает разложение ФРЭС и второй производной зондового тока по потенциалу зонда в ряды по полиномам Лежандра, последующее измерение значений второй производной и расчет ФРЭС и ее лежандровых компонент f_j .

Ниже приведена система уравнений, лежащая в основе метода плоского зонда

$$j_u''(\vec{r}; eu; \phi_0) = \frac{2\pi e^3}{m^2} \sum_{j=0}^{\infty} F_j(\vec{r}; eu) P_j(\cos \phi_0); \quad (1)$$

$$F_j(\vec{r}; eu) = f_j(\vec{r}; eu) - \int_{eu}^{\infty} f_j(\vec{r}; \varepsilon) \frac{\partial}{\partial(eu)} P_j\left(\sqrt{\frac{eu}{\varepsilon}}\right) d\varepsilon. \quad (2)$$

$j=0,1,2,\dots$

Вместе с тем, область применения метода плоского зонда ограничена требованием аксиальной симметрии плазменного объекта. На рис. 1 показан случай, когда зонд

располагается в радиальной области разрядного промежутка и возникает необходимость учета асимметрии обусловленной присутствием радиального электрического поля.

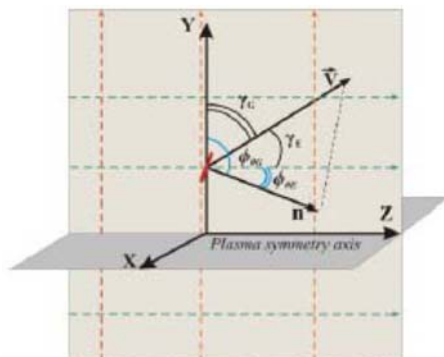


Рисунок 1. Геометрия задачи для зонда, расположенного в радиальной области плазмы.

В представленной работе предложен метод диагностики плазмы с произвольной степенью симметрии. В этом случае основные уравнения метода плоского зонда (1, 2) трансформируются в следующие соотношения:

$$j_u''(\vec{r}; eu) = \frac{2\pi e^3}{m^2} \sum_{j=0}^{\infty} \left\{ F_{jE}(\vec{r}; eu) P_j(\cos \phi_{0E}) + F_{jG}(\vec{r}; eu) P_j(\cos \phi_{0G}) \right\}, \quad (3)$$

$$F_{jE}(\vec{r}; eu) = f_{jE}(\vec{r}; eu) - \int_{eu}^{\infty} f_{jE}(\vec{r}; \varepsilon) \frac{\partial}{\partial(eu)} P_j \left(\sqrt{\frac{eu}{\varepsilon}} \right) d\varepsilon; \quad (4)$$

$$F_{jG}(\vec{r}; eu) = f_{jG}(\vec{r}; eu) - \int_{eu}^{\infty} f_{jG}(\vec{r}; \varepsilon) \frac{\partial}{\partial(eu)} P_j \left(\sqrt{\frac{eu}{\varepsilon}} \right) d\varepsilon, \quad (5)$$

где $f_{0E}; f_{0G}$ – углы между нормалью к поверхности плоского одностороннего зонда и направлениями полевого и диффузионного потоков заряженных частиц соответственно.

Аналогично методу плоского зонда, реконструкция компонент $f_{jE}; f_{jG}$ связана с решением интегральных уравнений Вольтерра второго рода, связывающих лежандровы компоненты ФРЭС и второй производной.

Эксперимент

Зондовые измерения проводились в плазме положительного столба гелиевого тлеющего разряда в диапазоне давлений 0,1-1 тор, и разрядных токов 0,1 А-0,5 А на

расстоянии 1 см от стенки при двух ориентациях плоского зонда относительно оси разряда (0° и 180°). Зарегистрированы значения второй производной, восстановлена угловая структура ФРЭС в конусе потерь и построены полярные диаграммы направленного движения электронов (рис. 2).

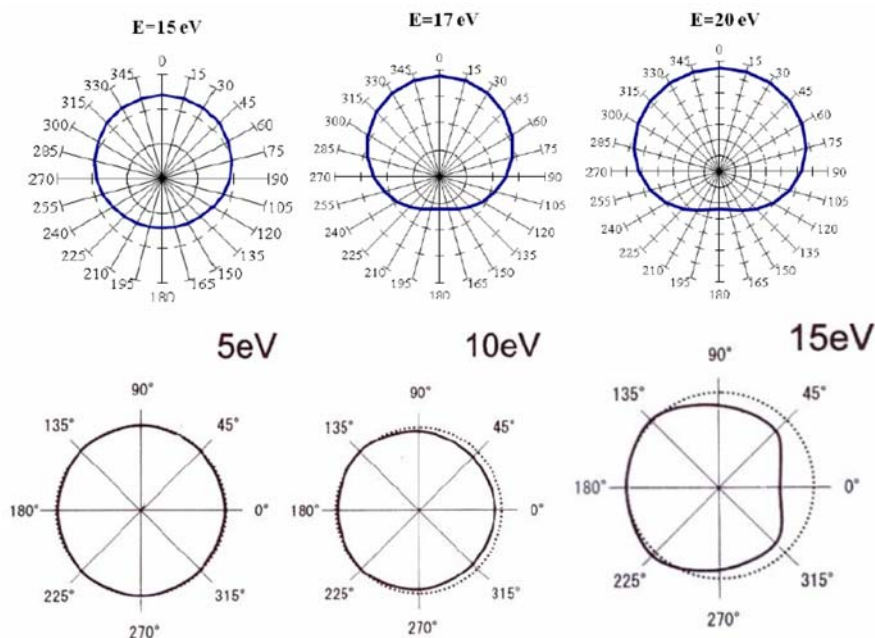


Рисунок 2. Вверху – угловая структура ФРЭС, зарегистрированная на расстоянии 1 см от стенки в плазме положительного столба тлеющего разряда в гелии. $P_{\text{He}} = 0,5$ тор, $I = 0,5$ А.

Угол 180° – собирающая поверхность зонда повернута к стенке.

Внизу - угловая структура ФРЭС, зарегистрированная в плазме высокочастотного разряда в аргоне [10]. Угол 0° – собирающая поверхность зонда повернута к стенке.

Как и в работе [10], с ростом энергии электронов на диаграммах наблюдается обеднение ФРЭС, связанное с уходом электронов на стенки. Если потенциал зонда превосходит потенциал стенки, то зонд «чувствует» ФРЭС в конусе потерь. При повышении тока и давления картина существенно не меняется. Поворот зонда на 180° позволяет измерить ФРЭС в основной части плазменного объема. В этом случае на диаграммах направленности видна типичная для положительного столба картина слабоанизотропной ФРЭС.

Полученные данные хорошо согласуются с теоретическими и экспериментальными результатами [6, 10], что говорит о точности разработанного метода и может

служить подтверждением того, что парадокс Ленгмюра связан не с гипотетическим механизмом максвеллизации ФРЭС, а с физическими особенностями ее формирования в результате комбинации уже известных механизмов.

Литература

1. *Langmuir I.* // Phys. Rev. 1925. Vol. 26. P. 585–613.
2. *Gabor D., Ash E.A., Dracott D.* // Nature. 1955. Vol. 176. N 11. P. 916–919.
3. *Granovskiy V.L.* Electrical current in gas. Sustained current. – М.: Nauka, 1971. 272 P.
4. *Chen F.* Introduction to plasma physics. Plenum press. – 1974. 421 p.
5. *Kadomtsev B.V.* Problems of plasma theory. / Ed. by M.A. Leontovich. Vol. 4. – М.: Atomizdat, 1964. 325 P.
6. *Tsendin L.D.* 2003 Plasma Sources Sci. Technol. 12 S51.
7. *Kagan Y.M.* Spectroscopy of gas discharge plasmas. – L.: Nauka, 1970. P. 201-223.
8. *Rayment S.W., Twiddy N.D.* // Proc. Soc. A. 1968. Vol. 340. P. 87–98.
9. *Godyak V.A., Kuzovnikov A.A., Khadir M.A.* // Mess. Of the MSU. Phys and astron. 1971. № 3. P. 336-338.
10. *Ishijima T., Uenuma M., Tsendin L.D., Sugai H.* Cont. pap. of ESCAMPING 2002. Grenoble, France. Vol. 1, p. 221.
11. *Mustafaev A.S.* Probe Method for Investigation of Anisotropic EVDF. Electron Kinetics and Applications of Glow Discharges // NATO Int. Sci. Session / Ed. By Kortshagen U., Tsendin L. N.Y. – London: Plenum Press, 1998. Vol. 367. P. 531.

Electron Velocity Distribution Function in Asymmetrical Plasma

A.A. Strakhova, A.S. Mustafaev, A.Y. Grabovskiy

*National Mineral Resources University (Mining University)
St. Petersburg 199106, 21 line, 2; e-mail: anastasia__spb@mail.ru,
alexmustafaev@yandex.ru, schwer@list.ru*

Received January 15, 2016

PACS: 52.70.Ds

This paper deals with the further development of the probe technique for the investigation of nonequilibrium anisotropic plasmas. The flat probe method, which allows determining full electron velocity distribution function (EVDF) in plasmas with any degree

of anisotropy, but only with axial symmetry, has been improved in direction of measurements in plasma without symmetry at all. The theoretical basis of the method has been developed. For flat probe analytical expressions, connecting the second derivative of probe current with respect to the probe potential with the Legendre components of the EVDF has been obtained. The method has been experimentally tested in positive column of glow discharge. It has been demonstrated, that proposed method provide a number of new possibilities, such as investigations near the plasma boundaries and obtaining of non-traditional information about the processes of particle escape to the walls, which could be useful for investigations of Langmuir paradox in plasma.

Keywords: electron velocity distribution function, flat probe, radial e-field, loss cone, Langmuir paradox.

References

1. *Langmuir I.* // Phys. Rev. 1925. Vol. 26. P. 585–613.
2. *Gabor D., Ash E.A., Dracott D.* // Nature. 1955. Vol. 176. N 11. P. 916–919.
3. *Granovskiy V.L.* Electrical current in gas. Sustained current. – M.: Nauka, 1971. 272 P.
4. *Chen F.* Introduction to plasma physics. Plenum press. – 1974. 421 p.
5. *Kadomtsev B.V.* Problems of plasma theory. / Ed. by M.A. Leontovich. Vol. 4. – M.: Atomizdat, 1964. 325 P.
6. *Tsendin L.D.* 2003 Plasma Sources Sci. Technol. 12 S51.
7. *Kagan Y.M.* Spectroscopy of gas discharge plasmas. – L.: Nauka, 1970. P. 201-223.
8. *Rayment S.W., Twiddy N.D.* // Proc. Soc. A. 1968. Vol. 340. P. 87–98.
9. *Godyak V.A., Kuzovnikov A.A., Khadir M.A.* // Mess. Of the MSU. Phys and astron. 1971. № 3. P. 336-338.
10. *Ishijima T., Uenuma M., Tsendin L.D., Sugai H.* Cont. pap. of ESCAMPING 2002. Grenoble, France. Vol. 1, p. 221.
11. *Mustafaev A.S.* Probe Method for Investigation of Anisotropic EVDF. Electron Kinetics and Applications of Glow Discharges // NATO Int. Sci. Session / Ed. By Kortshagen U., Tsendin L. N.Y. – London: Plenum Press, 1998. Vol. 367. P. 531.

Постер/Краткое сообщение

УДК 533.9.082

Функция распределения ионов по энергиям и углам в плазме

Мацак Алексеевич Аинов¹, Александр Сеит-Умерович Мустафаев¹,
Владимир Сергеевич Сухомлинов²

¹ Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»
199106, Санкт-Петербург, 21 линия, д. 2; e-mail: ainovm@gmail.com,
alexmustafaev@yandex.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, Физический факультет
198504, Санкт-Петербург, ул. Ульяновская, 3; e-mail: prima-ivs@mail.ru

Методом плоского одностороннего зонда впервые измерены первые семь коэффициентов разложения по полиномам Лежандра функции распределения ионов по энергиям и углам для He^+ в He и Ag^+ в Ag в условиях, когда скорость иона, приобретаемая им на длине пробега, порядка средней тепловой скорости атомов. При произвольной величине электрического поля в плазме найдено аналитическое решение кинетического уравнения Больцмана для ионов в собственном газе в условиях, когда доминирующим процессом является резонансная перезарядка. Учтена зависимость сечения резонансной перезарядки от относительной скорости. Показано, что вид функции распределения ионов по скоростям существенно отличается от максвелловского распределения и определяется не одним, а двумя параметрами. Результаты расчетных и экспериментальных данных, с учетом аппаратной функции метода измерений, находятся в хорошем соответствии.

Ключевые слова: функция распределения ионов, плоский зонд, резонансная перезарядка.

Исследование функции распределения ионов (ФРИ) по скоростям представляет особый интерес для современных приложений: плазменные нанотехнологии, тонкая очистка ионами поверхности, технология избирательного травления и создания рельефов за счёт бомбардировки ионами, наноэлектроника нового поколения (одно-электронные транзисторы, спинтроники и др.) [1, 2]. В этой связи особую актуальность представляют экспериментальные методы определения ФРИ в разрядах различного типа и, в частности, в плазме самостоятельного разряда постоянного тока. Нам неизвестны работы, в которых в таком разряде экспериментально определялась бы ФРИ.

Что касается теоретических исследований, то, несмотря на большое количество работ, среди них трудно выделить такие, где рассчитывалась бы ФРИ по энергиям и направлениям движения в плазме самостоятельного разряда постоянного тока. Так, дрейф ионов теоретически изучался в ряде работ [3-6]. В [3] рассчитывалась дрейфовая скорость ионов инертных газов в плазме собственного газа в приближении сильного

поля, при этом полагалось, что распределение атомов по энергиям имеет вид дельта – функции. Автор [4] приводит результаты расчета дрейфовой скорости ионов инертных газов в собственном газе, однако, автором не получено выражение для ФРИ. В [5] (в пренебрежении всеми процессами кроме перезарядки) для интерпретации экспериментальных данных [7] рассчитано время, в течение которого ион, двигаясь в собственном газе, имеет составляющую скорости вдоль направления электрического поля в интервале от v_{iz} до $v_{iz} + dv_{iz}$. Это время с точностью до размерного множителя описывает ФРИ по проекции скорости на направление электрического поля. Однако получить ФРИ по полной скорости из этих результатов затруднительно. В монографии [6] при решении задачи о ФРИ в собственном газе пренебрегается рождением ионов, имеющих максвелловское распределение по скоростям вследствие перезарядки. В результате при постоянном сечении перезарядки получен максвелловский вид ФРИ с температурой, которая определяется электрическим полем в плазме. Авторы [8] при разработке аналитической теории расчета ФРИ считали, во-первых, распределение ионов в плоскости, ортогональной электрическому полю, максвелловским, во-вторых – сечение резонансной перезарядки не зависящим от энергии иона, что, как известно, приводит к существенному искажению ФРИ.

В работах [9, 10] развивается новый метод расчета матричных элементов интеграла столкновений, который применен к решению нестационарного уравнения Больцмана методом моментов для ионов в условиях, когда основной процесс – резонансная перезарядка. Тем не менее, в сильных полях, когда отношение тепловой энергии атома и энергии иона, приобретаемой на длине пробега менее 0,1, использование данного подхода для расчета стационарной ФРИ затруднительно. В работе [11] сравнивается аналитическое решение уравнения Больцмана для ионов в ВГК – модели [12] и численное решение при постоянном сечении резонансной перезарядки. Показано, что при больших полях аналитическое решение дает неверную асимптотику для дрейфовой скорости иона.

В работе [13] аналитически решена задача об определении ФРИ в собственном газе в сильном поле. Сравнение результатов расчетов с известными экспериментальными данными по скоростям дрейфа в сильных полях показало их хорошее совпадение. Кроме того, в этой же работе впервые зондовым методом измерена ФРИ ионов Hg^+ по энергиям в парах Hg . Продемонстрировано согласие экспериментальных и расчетных данных.

В настоящей работе предложен новый экспериментальный метод определения функции распределения ионов по энергиям и направлениям движения при произвольной величине электрического поля в плазме. Основное условие, ограничивающее область применимости метода – малость толщины призондового слоя

Дебая по сравнению с размерами зонда. В методе используется часть зондовой характеристики, соответствующая положительному потенциалу зонда относительно потенциала плазмы.

Наибольшей экспериментальной сложностью при измерении ФРИ плоским зондом является необходимость одновременного его вращения и перемещения вдоль оси разряда. Для решения указанной задачи в плазму через боковую границу вводился вращающийся плоский односторонний зонд из танталовой фольги толщиной $30 \mu\text{m}$ в виде круга диаметром $0,5$ или $0,8 \text{ mm}$. К зонду приваривался токопровод из танталовой проволоки диаметром $0,1 \text{ mm}$. Зонд располагался на осевой линии разрядной трубки и монтировался на трехкоординатной микрометрической дистанционной системе перемещения, которая с помощью сифонного соединения обеспечивала его пространственную установку с точностью $\pm 0,01 \text{ mm}$ и ориентацию относительно оси симметрии разряда в диапазоне углов ($0^\circ \div 180^\circ$) с дискретным шагом 5° и точностью не хуже $\pm 10 \text{ mm}$. Для измерения лежандровых коэффициентов F_{ia}^n ФРИ регистрировались вторые производные зондового тока I_v'' , полученные радиотехническим методом двойной модуляции потенциала зонда. Впервые методом плоского одностороннего зонда [14, 15], восстановлена полная функция распределения ионов по энергии и ее семь коэффициентов разложения в ряд по полиномам Лежандра $P_n(\cos(\theta))$ (где θ – угол между направлением скорости и вектором электрического поля в плазме) для He^+ в He и Ar^+ в Ar .

Развита аналитическая теория для описания ФРИ в собственном газе при условии, что основным процессом с участием ионов в плазме является резонансная перезарядка. При этом величина электрического поля в плазме может быть произвольной, а сечение перезарядки считается зависящим от относительной скорости иона и атома. ФРИ f_i находится в виде аналитического решения уравнения Больцмана:

$$\vec{v}_i \vec{\nabla}_r (f_i) + \frac{eE}{m} \vec{\nabla}_v (f_i) = S_i(\vec{v}_i), \quad (1)$$

где $S_i(\vec{v}_i) = n_a \left\{ f_a(\vec{v}_i) \int \sigma(v_r) v_r f_{in}(\vec{v}'_i) d\vec{v}'_i - f_{in}(\vec{v}_i) \int \sigma(v_r) v_r f_a(\vec{v}'_a) d\vec{v}'_a \right\}$; $v_{iz} = v_i \mu$; $\mu = \cos \theta$; $\sigma(v_r)$ – сечение перезарядки; \vec{v}'_i – скорость иона; $f_a(\vec{v}'_a)$ – максвелловская функция распределения атомов по скоростям; v_r – модуль относительной скорости иона и атома; m – масса иона; E – величина электрического поля.

Полученное аналитическое решение уравнения (1) отличается от максвелловской функции и зависит от двух параметров, один из которых определяет наиболее вероятную скорость ионов, которая близка к тепловой, другой – среднюю скорость ионов, которая зависит от величины электрического поля в плазме:

$$f_i(x, \mu) = \frac{F(x, \mu)}{2\pi \int_0^1 \int_{-1}^{\infty} F(x, \mu) d\mu dx}; \quad (2)$$

$$F(x, \mu) = \exp[-x^2(1-\mu^2) - 2\varepsilon_0\eta(x, \mu)]x^2 \int_0^{\infty} \exp[-y^2 - 2\varepsilon_0\eta_1(x, y, \mu)]\bar{\varphi}(y, x, \mu)dy +$$

$$+ \exp[-x^2(1-\mu^2) - 2\varepsilon_0\eta(x, \mu)]x^2 \int_0^{x\mu} \exp[-y^2 + 2\varepsilon_0\eta_1(x, y, \mu)]\bar{\varphi}(y, x, \mu)dy$$

при $\mu \geq 0$;

$$F(x, \mu) =$$

$$= \exp[-x^2(1-\mu^2) - 2\varepsilon_0(x)\eta(x, \mu)]x^2 \int_{-x\mu}^{\infty} \exp[-y^2 - 2\varepsilon_0(x)\eta_1(x, y, \mu)]\bar{\varphi}(y, x, \mu)dy$$

при $\mu < 0$;

$$\eta(x, \mu) =$$

$$= \int_0^{x\mu} \{ [y^2 + x^2(1-\mu^2)]^{0,5} + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\sqrt{y^2 + x^2(1-\mu^2)}\right] [1 + 0,5[y^2 + x^2(1-\mu^2)]^{1,25}] \} dy;$$

$$\eta_1(x, y, \mu) =$$

$$= \int_0^y \{ [z^2 + x^2(1-\mu^2)]^{0,5} + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\sqrt{z^2 + x^2(1-\mu^2)}\right] [1 + 0,5[z^2 + x^2(1-\mu^2)]^{1,25}] \} dz;$$

$$\bar{\varphi}(x, y, \mu) = \frac{\sqrt{y^2 + x^2(1-\mu^2) + \beta\bar{V}_i^2}}{\sqrt{\beta}}; \quad \beta = \frac{m}{2kT_a};$$

$$x = \sqrt{\beta}v_i; \quad \varepsilon_0(x) = \frac{mn_a\sigma(x)}{2eE\beta}$$

Теория надежно описывает большой массив известных экспериментальных данных по скоростям дрейфа и приведенным подвижностям атомарных и молекулярных ионов в плазме собственного газа и данные численных расчетов по методу Монте-Карло средней энергии ионов.

Проведено сравнение измеренных и рассчитанных по разработанной теории полной функции распределения ионов и первых семи коэффициентов Лежандра для He^+ в He и Ar^+ в Ar, которое показало их хорошее соответствие (см. рис. 1).

Продемонстрирована возможность восстановления полной ФРИ по энергиям из измерения разработанным зондовым методом первых семи коэффициентов разложения ФРИ в ряд по полиномам Лежандра (см. рис. 2). При этом диапазон энергий ионов, в котором это восстановление осуществляется с известной точностью, определяется отношением тепловой энергии атомов к энергии, приобретаемой ионом на длине свободного пробега и растет с его увеличением.

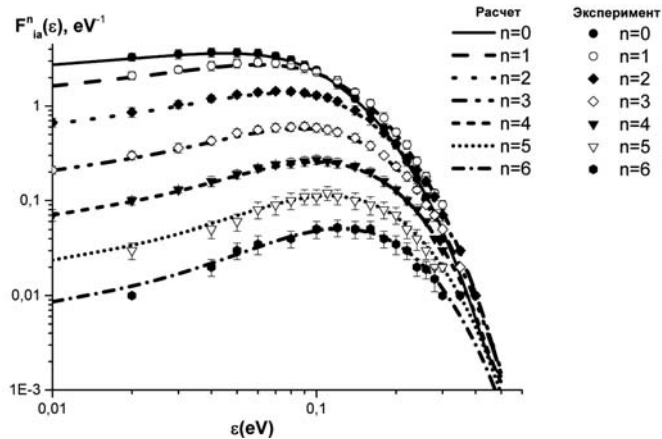


Рисунок 1. Энергетическая зависимость первых семи коэффициентов разложения ФРИ Ag^+ в Ag по полиномам Лежандра для значения дифференцирующего сигнала $\Delta\epsilon = 0,05$ V,

$$T_a = 450 \text{ K}; \quad \frac{E}{p_0} = 9 \frac{\text{V}}{\text{cm}} \text{ Torr}, \quad P = 0,2 \text{ Torr.}$$

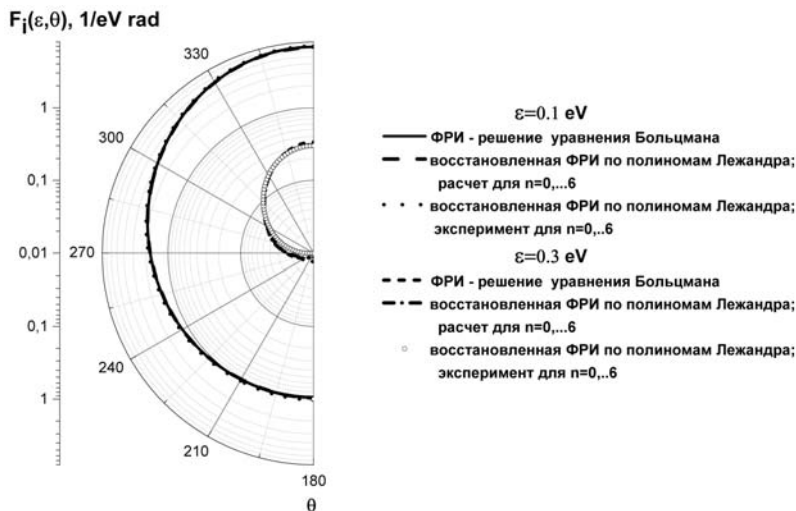


Рисунок 2. Угловая зависимость ФРИ для условий Рис. 1 при различной энергии иона ϵ .

Литература

1. Abe H., Yoneda M. & Fujiwara. N. // Jpn. J. Appl. Phys. 2008. Vol.47. P.1435.
2. Lieberman Michael A. // 7th ICPR and 63th GEC. 2010. Paris. France. Bull. of the APS. 2010. Vol. 55, N 7, P.105.
3. Смирнов Б.М. // ЖТФ. 1966. Т. 36. №10. С. 1864.
4. Перель В.И. // ЖЭТФ. 1957. Т. 32. С. 526.
5. Фок В.А. // ЖЭТФ. 1948. Т. 18. С. 1048.
6. Голант В.Е., Жилинский А.П., Сахаров С.А. Основы физики плазмы. М.: Атомиздат, 1977, 150 с.
7. Фриш С.Э., Каган Ю.М. // ЖЭТФ. 1947. Т 17. С. 577.
8. Lampe M., Rucker T.B., Gooyce. J, Zhdanov S.K., Ivlev A.V., and Morfill G.E. // Physics of Plasmas. 2012. Vol. 19. P. 113703.
9. Эндер А.Я., Эндер И.А. // ЖТФ. 2010. Т. 80, вып. 2. С. 8.
10. Эндер А.Я., Эндер И.А. // ЖТФ. 2010. Т. 80, вып. 2. С.18.
11. Else D., Kompaneets R., and Vladimirov S.V. // Physics of Plasmas. 2009. Vol. 16, P. 062106.
12. Bhatnagar P.L., Gross E.P., and Krook M. // Phys. Rev. 1954. Vol. 94, P. 511.
13. Мустафаев А.С., Сухомлинов В.С., Аинов М.А. // ЖТФ. 2015. Т.85, вып. 12. С.45
14. Лапшин В.Ф., Мустафаев А.С. // ЖТФ. 1989. Т. 59. С. 35.
15. Мустафаев А.С. // ЖТФ. 2001. Т. 71. С. 111.

Ion Velocity Distribution Function by Energy and Angle in the Plasma

M.A. Ainov¹, A.S. Mustafaev¹, V.S. Soukhomlinov²

¹ National Mineral Resources University (Mining University)

199106, St. Petersburg, 21 line, 2. Russia;

e-mail: ainovm@gmail.com, alexmustafaev@yandex.ru

² Saint-Petersburg State University

198504 St. Petersburg, Petrodvorets, Ulianovskaya Street, 3. Russia;

e-mail: prima-ivs@mail.ru

Received December 25, 2015

PACS: 52.70.Ds

Using the flat-sided probe method for the first time were measured the first seven coefficients of the expansion of Legendre polynomials of the ion distribution function of energy and angle for He⁺ in He and Ar⁺ in Ar in the conditions when the ion velocity acquired by

them on the path length are of the same order of the average thermal velocity of atoms. For an arbitrary electric field in the plasma it was found the analytic solution for the kinetic Boltzmann equation for ions in their own gas under conditions where the dominant process is resonant charge exchange. It was taken into account the dependence of resonant charge exchange cross-section on the relative velocity. It is shown that the form of the velocity ion distribution function is significantly different from Maxwell distribution and is determined not by one but by two parameters. Results of theoretical and experimental data, taking into account the instrumental function of the measurement method are in good agreement.

Keywords: ion velocity distribution function, flat probe, resonant charge.

References

1. Abe H., Yoneda M. & Fujiwara. N. // Jpn. J. Appl. Phys. 2008. Vol.47. P.1435.
2. Lieberman Michael A. // 7 th ICPR and 63thGEC. 2010. Paris. France. Bull. of the APS. 2010. Vol. 55, N 7, P.105.
3. Smirnov B.M. // Journal of Technical Physics. 1966. Vol. 36. Issue 10. P. 1864 [in Russian].
4. Perel V.I. // Journal of Experimental and Theoretical Physics. 1957. Vol. 32. P. 526 [in Russian].
5. Fok V.A. // Journal of Experimental and Theoretical Physics. 1948. Vol. 18. P. 1048 [in Russian].
6. Golant V.E., Zhilinsky A.P., Sakharov S.A. Fundamentals of Plasma Physics. M.: Atomizdat, 1977, P.150 [in Russian].
7. Frish S., Kagan Yu.M. // Journal of Experimental and Theoretical Physics. 1947. Vol 17. P. 577 [in Russian].
8. Lampe M., Rycker T.B., Goyce J., Zhdanov S.K., Ivlev A.V., and Morfill G.E. // Physics of Plasmas. 2012. Vol. 19. P. 113703.
9. Ender A.Ya., Ender I.A. // Journal of Technical Physics. 2010. Vol. 80, Issue. 2. P. 8 [in Russian].
10. Ender A.Ya., Ender I.A. // Journal of Technical Physics. 2010. Vol. 80, Issue. 2. P.18 [in Russian].
11. Else D., Kompaneets R., and Vladimirov S.V. // Physics of Plasmas. 2009. Vol. 16, P. 062106.
12. Bhatnagar P.L., Gross E.P., and Krook M. // Phys. Rev. 1954. Vol. 94, P. 511.
13. Mustafaev A.S., Soukhomlinov V.S., Ainov M.A. // Journal of Technical Physics. 2015. Vol.85, Issue. 12. P. 45 [in Russian].
14. Lapshin V.F., Mustafaev A.S. // Journal of Technical Physics. 1989. Vol. 59. P. 35 [in Russian].
15. Mustafaev A.S. // Journal of Technical Physics. 2001. Vol. 71. P. 111 [in Russian].

Спектральные характеристики поляризационно-модулированной электромагнитной волны в вакууме

Николай Сергеевич Акинцов

Кубанский государственный университет
350040, Краснодар, Ставропольская, 149; e-mail: akintsov777@mail.ru

В данной работе разработан один из методов применяемый к описанию поляризационной модуляции. Данный метод имеет принципиальное значение для описания распространения поперечных модулированных электромагнитных волн в радиофизике и оптоэлектронике. С помощью поляризационно-модулированных волн удастся улучшить скорость передачи и помехоустойчивость радиосигналов и может быть описан общий вид (ЕМ) модулированных электромагнитных волн. Получена интенсивность модулированной волны и её частотный спектр.

Ключевые слова: поляризационно-модулированная электромагнитная волна, глубина амплитудной модуляции, частотный спектр поляризационно-модулированной ЕМ волны.

На практике часто встречаются смешанные типы модуляции, например, амплитудно-частотная модуляция или амплитудно-фазовая. Как правило, один из видов модуляции является рабочим, а другой паразитным, сопровождающим основную модуляцию из-за несовершенства технических средств, осуществляющих модуляцию [1].

Поляризационная модуляция ЕМ электромагнитной волны, как правило, характеризуется двумя основными параметрами: полной фазой волны и модулированной амплитудой электромагнитной волны. Полагая, что амплитуда электромагнитной волны модулирована по гармоническому закону $b = b_{\perp} (1 + \delta \cos(\omega_0 \xi + \eta \sin(\sigma \omega'_0 \xi + \phi_0) + \varphi_0))$, для компонент векторов поля этой волны имеем:

$$\begin{aligned} E_x = H_y = b_{x0} \left[1 + \delta \sum_{l=-N}^N J_l(\eta) \cos(\Phi_l) \right] \sum_{n=-N}^N J_n(\rho) \cos(\Phi_n), \\ E_y = -H_x = f b_{y0} \left[1 + \delta \sum_{l=-N}^N J_l(\eta) \cos(\Phi_l) \right] \sum_{n=-N}^N J_n(\rho) \sin(\Phi_n), \\ E_z = H_z = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь полагается, что ось z направлена вдоль направления распространения волны, оси x и y совпадают с направлением полуосей эллипса поляризации волны b_{x0} и b_{y0} , причем $b_{x0} \geq b_{y0} \geq 0$; ω – частота несущей волны; $\xi = t - z/c$; $f = \pm 1$ – параметр поляризации, при этом верхний знак для E_y соответствует правой поляризации, а

нижний – левой; δ – глубина амплитудной модуляции и $\delta \in [0, 1]$; ω_0 – частота модуляции; $\eta = \Delta\omega_l / \omega'_0 = \Delta\varphi_0$ – индекс модуляции, равный отношению девиации частоты $\Delta\omega_l$ к частоте модулированного сигнала ω'_0 ; $\sigma = \omega / \omega'_0$ – коэффициент модуляции и $\sigma \in [0, 1]$; $\rho = \Delta\omega_n / \omega' = \Delta\alpha_0$ – индекс модуляции равный отношению девиации частоты $\Delta\omega_n$ к частоте модулирующей волны ω' ; φ_0 – начальная фаза волны, $\varphi_0 \in [0, 2\pi]$; $\tau = \omega_n / \omega'$ – коэффициент модуляции полной фазы волны и $\tau \in [0, 1]$; $J_n(\rho)$ и $J_l(\eta)$ – функция Бесселя n -го порядка и l -го порядка; $\Phi_n = (\omega + n\omega')\xi + \alpha + n\psi$, $\Phi_l = (\omega_0 + l\omega'_0)\xi + \alpha + k\psi$.

Из формул (1) видно, что спектр частотно-модулированной ЭМ электромагнитной волны симметричен по частотам: $\omega_n = \omega + n\omega'$, $\omega_l = \omega_0 + l\omega'_0$, а её интенсивность определяется формулой

$$I_{\text{mod}} = I \sum_{n=-N}^N J_n^2(\eta) \left(1 + \frac{\delta^2}{2} \sum_{l=-N}^N J_l^2(\eta) \right), \quad (2)$$

где $I = cb^2 / (8\pi)$ – интенсивность плоской монохроматической волны.

Используя (1) получаем напряженность электрического поля в виде суммы $2N + 1$ спектральных компонент с частотой ω_n

$$\begin{aligned} \text{Re}(E(x, t)) &= \frac{b_{x0}}{2} \sum_{n=-N}^N J_n(\rho) \cos(\omega_n t), \\ \text{Re}(E(y, t)) &= 0, \\ \text{Re}(E(z, t)) &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Из (3) видно, что частотный спектр поляризованно-модулированной электромагнитной ЭМ волны не зависит от глубины модуляции, частоты амплитудно-модулированной волны и несет информацию об амплитудах спектральных составляющих.

Формулы (1) описывают общий вид модуляции несущего ЭМ сигнала и различные типы модуляционных процессов, встречаемых в радиофизике, за исключением цифровой модуляции. Однако в радиофизическом диапазоне, в отличие от оптического, поляризационная модуляция применяется крайне редко и в основном в лабораторных исследованиях [1].

Литература

1. Гусев К.Г., Филатов А.Д., Сополев А.П. Поляризационная модуляция. – М. Сов. радио, 1974. – 288 с.

Spectral Characteristics of Polarization-Modulated Electromagnetic Wave in Vacuum

N.S. Akintsov

Kuban State University

350040, Krasnodar, Stavropolskaya, 149; e-mail: akintsov777@mail.ru

Received November 30, 2015

PACS: 42.60.Fc

In this paper is developed a method used to describe the polarization modulation. The method is essential to describe the propagation of transverse polarization-modulated electromagnetic waves in radiophysics and optoelectronics. By using polarization-modulated waves speed and noise immunity of radio signals can be improved and described by the general form (EM) modulated electromagnetic waves. It is received intensity of the modulated wave and frequency spectrum.

Keywords: polarization-modulated electromagnetic wave, amplitude modulation depth, the frequency spectrum of the polarization-modulated EM electromagnetic waves.

References

1. *Gusev K.G., Filatov A.D., Sokolov A.P.* The polarization modulation. – Moscow: Sov. Radio, 1974. p. 288 [in Russian].

Кинетика диспропорционирования иода в поле низкочастотных воздействий в системах I_2-H_2O и $KI-I_2-H_2O$

Никита Алексеевич Богатов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 5, стр. 1; e-mail: nikitabogotov@list.ru

Представлены результаты исследования воздействия низкочастотных колебаний на водные растворы молекулярного иода I_2-H_2O и системы иод – иодид калия – вода $KI-I_2-H_2O$. Обнаружено, что при добавлении $KI-I_2-H_2O$ в раствор молекулярного иода при воздействия акустических колебаний изменяется кинетика реакции. Рассчитаны константы скорости звукохимического процесса диспропорционирования раствора I_2-H_2O под действием низкочастотных колебаний в 10 Гц при добавлении 0,5 мл, 1 мл в присутствии иодида калия.

Ключевые слова: иод, акустическое воздействие, низкочастотные колебания, инфразвук.

Работа является частью исследований [1, 2], проводимых на кафедре химии МГТУ им. Н.Э. Баумана по влиянию низкочастотных колебаний на физико-химические системы.

В данной работе представлены спектры оптической плотности насыщенного водного раствора молекулярного иода и раствора с добавлением иодида калия. Определены кинетические зависимости диспропорционирования под действием низкочастотных колебаний. Результаты получены методом абсорбционной спектроскопии. Установлено, что в поле низкочастотного акустического воздействия на частоте 10 Гц и напряжении 5 В на процесс необратимого уменьшения оптической плотности водного раствора молекулярного иода в системе I_2-H_2O влияет добавление $KI-I_2-H_2O$ в раствор, при этом меняется кинетика протекания реакции. Добавление KI в водный раствор молекулярного иода смещает значение максимальной оптической плотности $\lambda=460$ нм в УФ диапазоне спектра $\lambda=350$ нм. Это приводит к уменьшению скорости протекания реакции что отражается в уменьшении константы скорости.

Константы скорости обесцвечивания

Система	I_2-H_2O	$I_2-H_2O + 0,5$ мл. $KI-I_2-H_2O$	$I_2-H_2O + 1$ мл. $KI-I_2-H_2O$
$k \cdot 10^4, \text{сек}^{-1}$	8,08	6,57	2,97

Различие в константах скорости исследуемой системы косвенно подтверждает влияние ионов I_3^- на кинетику окислительно-восстановительного диспропорцио-

нирования иода в поле низкочастотных акустических воздействий, сдвигая равновесие процесса в сторону обратной реакции.

Литература

1. *Фадеев Г.Н., Синкевич В.В., Богатов Н.А.* Термически обратимое равновесие в системе йод-крахмал // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2015. № 2. С. 125-133.
2. *Богатов Н.А.* Окислительно-восстановительное диспропорционирование иода в поле низкочастотных акустических воздействий // Молодежный научно-технический вестник. Электрон. журн. 2014. № 9. С. 15. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/732329.html> (дата обращения: 11.06.15.).

Kinetics of Iodine Disproportionation Effects in the Low-frequency Systems I_2 - H_2O and KI - I_2 - H_2O

N.A. Bogatov

BMSTU, Moscow, 2-nd Bauman Str., 5, b. 1; e-mail: nikitabogatov@list.ru

Received January 14, 2016

PACS: 82.20.-w 82.40.-g

The results of research of the effects of the low-frequency fluctuations in the aqueous solutions of molecular iodine I_2 - H_2O system and iodine – potassium iodide – KI - I_2 - H_2O aqua. It has been found that adding KI - I_2 - H_2O in a solution of molecular iodine in the acoustic oscillations varies reaction kinetics. Rate constants sound chemical process disproportionation I_2 - H_2O solution by low-frequency vibrations of 10 Hz by adding 0,5 ml, 1 ml in the presence of potassium iodide.

Keywords: iodine, acoustic impact, low-frequency oscillations, infrasound.

References

1. *Fadeev G.N., Sinkevich V.V., Bogatov N.A.* Thermally reversible equilibrium in the system iodine-starch // Vestnik BMSTU Ser. Natural Sciences. 2015. № 2. pp. 125-133 [in Russian].
2. *Bogatov N.A.* Redox disproportionation of iodine in the effects of low-frequency acoustic // Youth Science and Technology vestnik. Electron. Zh. 2014. № 9. P. 15. Access: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/732329.html> (date of treatment: 11.6.15.) [in Russian].

Коэффициенты столкновительного уширения линий аргона и криптона в неоне

Анна Руслановна Гильдина^{1,2}, Павел Анатольевич Михеев^{1,2},
Валерий Николаевич Азязов^{1,2}

¹ Самарский Государственный Аэрокосмический Университет
443086, г. Самара, Московское шоссе, 32

² Самарский филиал Физического института им. П. Н. Лебедева РАН
443011, г. Самара, ул. Ново-садовая, 221; e-mail: primitive23@yandex.ru,
paulmikheyev@hotmail.com, azyazov@rambler.ru

Работа посвящена обработке результатов систематических измерений столкновительных уширений линий криптона и аргона в низкотемпературной плазме ВЧ разряда в смесях инертных газов. Необходимость проведения этих исследований обусловлена тем, что в результате проведения измерений были получены недостающие ключевые данные для диагностики активных сред перспективных лазеров на инертных газах с оптической накачкой. С помощью перестраиваемого диодного лазера были получены экспериментальные данные о столкновительном уширении линий аргона и криптона в неоне и определены коэффициенты уширения.

Ключевые слова: диодный лазер, спектроскопия, инертные газы, столкновительные уширения, газовый разряд.

Недавно Майклом Хэвеном из университета Эмори (США) была предложена и реализована экспериментально новая схема лазера с оптической накачкой, использующая метастабильные атомы инертных газов (ИГ*), наработанных в газовом разряде, аналогичная лазеру на парах щелочных металлов [1, 2]. Для измерений концентраций метастабильных атомов инертных газов и температуры газа в низкотемпературной плазме, необходимых для создания такой лазерной среды, наиболее эффективным методом является диодно-лазерная спектроскопия [3]. Однако, многие коэффициенты столкновительного уширения спектральных линий, необходимые для проведения этих измерений, до настоящего времени неизвестны.

Для определения коэффициентов столкновительного уширения для перехода $(n+1)s[3/2]_2 \rightarrow (n+1)p[5/2]_3$ в аргоне (811,5 нм) и криптоне (811,3 нм) в плазме ВЧ разряда была использована техника диодно-лазерной спектроскопии. Ширины компонент Гаусса и Лоренца линий поглощения были одновременно определены посредством аппроксимации профилей линий поглощения, получаемых в эксперименте профилем Фойгта в программе Origin 9. Обработка результатов проводилась в программном комплексе LabVIEW. Температуру газа рассчитывали, определяя Гауссову компоненту профиля поглощения Фойгта. Полученные значения коэффициентов столкновительного уширения для линий аргона и криптона в неоне составили $\xi_{Ar-Ne} =$

$1,25 \cdot 10^{-10} \text{ c}^{-1} \text{ cm}^3$, $\xi_{\text{Ar-Kr}} = 3,65 \cdot 10^{-10} \text{ c}^{-1} \text{ cm}^3$ и $\xi_{\text{Kr-Ne}} = 1,21 \cdot 10^{-10} \text{ c}^{-1} \text{ cm}^3$. Систематическая ошибка из-за градиента температуры вдоль потока составляет $\pm 3,6\%$.

Литература

1. Han J., Heaven M.C. Gain and lasing of optically pumped metastable rare gas atoms // Opt. Lett., Vol. 37, No. 11, 2012. pp. 2157-2159.
2. Han J., Glebov L., Venus J., and Heaven M.C. Demonstration of a diode-pumped metastable Ar laser // Opt. Lett., Vol. 38, No. 24, 2013. pp. 5458-5461.
3. Mikheyev P. A., Chernyshov A.K., Ufimtsev N.I., Vorontsova E.A., Azyazov V.N. Pressure broadening of Ar and Kr $(n+1)s[3/2]_2 \rightarrow (n+1)p[5/2]_3$ transition in the parent gases and in He. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 164 (2015) pp. 1-7.

Pressure Broadening Coefficients for 811,5 nm Argon Line and 811,3 nm Krypton Line in Neon

A.R. Ghildina^{1,2}, P.A. Mikheyev^{1,2}, V.N. Azyazov¹

¹ Samara State Aerospace University

443086, Samara, Moskovskoe shosse, 32

² P.N. Lebedev Physical Institute of RAS, Samara Branch

443011, Samara, Novo-Sadovaya str., 221;

e-mail: primitive23@yandex.ru, paulmikheyev@hotmail.com,

azyazov@rambler.ru

Received January 15, 2016

PACS: 42.62.Fi

This paper is devoted to the results processing of the systematic measurements of pressure broadenings for argon and krypton lines in RF discharge plasma in the mixture of the inert gases. The necessity of these studies is accounted for by obtainment missing key data during carrying out the experiment. These data are used for diagnostics for the active medium of the perspective optically pumped all-rare-gas laser. Using the tunable diode laser spectroscopy we obtain the experimental data on pressure broadenings for argon and krypton lines in neon and pressure-broadening coefficients were determined.

Keywords: diode laser, spectroscopy, inert gases, pressure broadenings, RF glow discharge.

References

1. *Han J., Heaven M.C.* Gain and lasing of optically pumped metastable rare gas atoms // Opt. Lett., Vol. 37, No. 11, 2012. pp. 2157-2159.
2. *Han J., Glebov L., Venus J., and Heaven M.C.* Demonstration of a diode-pumped metastable Ar laser // Opt. Lett., Vol. 38, No. 24, 2013. pp. 5458-5461.
3. *Mikheyev P. A., Chernyshov A.K., Ufimtsev N.I., Vorontsova E.A., Azyazov V.N.* Pressure broadening of Ar and Kr $(n+1)s[3/2]_2 \rightarrow (n+1)p[5/2]_3$ transition in the parent gases and in He. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 164 (2015) pp. 1-7.

Структурный состав железного метеорита Дронино

Светлана Сергеевна Гонцова, Елена Михайловна Максимова,
Игорь Анатольевич Наухацкий, Елена Татосовна Милокова

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
295007, г. Симферополь пр. Вернадского, 4; e-mail: sgoncova@gmail.com,
lenamax112@rambler.ru, nauhatsky@gmail.com, milyukova.elena@gmail.com

Методами рентгеновской дифрактометрии и сканирующей электронной микроскопии определен химический и минеральный состав железного метеорита Дронино. Установлено, что образец состоит из 14-ти кристаллических фаз. Поверхность метеорита представляет собой сплошную железоникелевую матрицу с вытянутыми сульфидными включениями.

Ключевые слова: метеорит, кристаллическая фаза, рентгеноструктурный анализ, рентгенофлуоресцентный анализ, сканирующая микроскопия.

По макроскопической структуре железные метеориты делят на три основных группы: октаэдриты, кристаллическая структура которых состоит в основном из минералов камасита α -(Fe,Ni) и тэнита γ -(Fe,Ni) – двух модификаций самородного железа космического происхождения; гексаэдриты, состоящие в основном из камасита α -(Fe,Ni) и атакситы, содержащие тэнит γ -(Fe,Ni) с большим количеством никеля. Классическим представителем атакситов является железный метеорит Дронино, найденный в 2000 г. в Касимовском районе Рязанской области, рис. 1, [1].



Рисунок 1. Исследуемый образец метеорита Дронино (3×2 см).

Качественный и количественный элементный состав метеорита определили на рентгенофлуоресцентном спектрометре ElvaX. Установлено, что исследуемый образец на 80% состоит из Fe с содержанием Ni ~18%.

Исследование кристаллической структуры образца метеорита Дронино проводились на дифрактометре общего назначения «ДРОН-3» методом порошков с

использованием медного излучения (Cu K α). Установлено, что основу минеральной матрицы метеорита составляют камасит α -(Fe,Ni) и тэнит γ -(Fe,Ni). В виде включений присутствуют троилит FeS, гётит α -FeO(OH), лепидокрокит γ -FeO(OH), виоларит FeNi₂S₄, пентландит (Fe,Ni)₉S₈, пирит FeS₂, акаганеит β -FeO(OH,Cl), дрониноит Ni₆Fe₃(OH)₁₆C₁₂·4H₂O, хромит FeCr₂O₄, сидерит FeCO₃, чукановит Fe₂[CO₃](OH)₂ и хиббингит Fe₂(OH)₃Cl, [2]. Следует отметить, что минералы гётит α -FeO(OH), лепидокрокит γ -FeO(OH) и чукановит Fe₂[CO₃](OH)₂ имеют некосмическое происхождение, а образовались в результате земного выветривания.

Исследование поверхности метеорита показало, что исследуемый образец представляет собой сплошную железоникелевую матрицу с крупными вытянутыми сульфидными включениями, рис. 2.

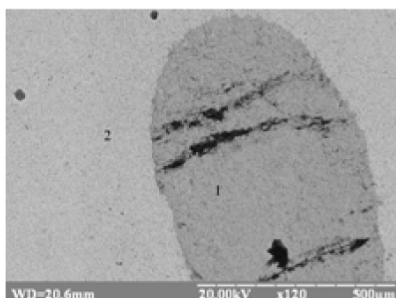


Рисунок 2. Область 1 – троилит, область 2 – железоникелевая матрица.

Фото получено в отражённых электронах на растровом электронном микроскопе РЭМ-106.

Литература

1. Grokhovsky V.I., Oshtrakh M.I., Milder O.B., Semionkin V.A., Kadushnikov R.M., Glazkova S.A. Structural studies of iron meteorite Dronino // LIP Contribution. 2005. 1980 pdf.
2. Гонцова С.С. Максимова Е.М., Наухацкий И.А. Исследование фазового состава метеорита Дронино // VI Всероссийская молодежная конференция по фундаментальным и инновационным вопросам современной физики: сборник трудов. 2015. С. 124.

The Structural Composition of an Iron Meteorite Dronino

S.S. Hontsova, E.M. Maksimova, I.A. Nauhatsky, E.T. Milyukova

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University
295007, Simferopol, Vernadsky Ave, 4;
e-mail: sgoncova@gmail.com, lenamax112@rambler.ru,
nauhatsky@gmail.com, milyukova.elena@gmail.com*

Received January 13, 2016

PACS: 96.30

It was determined the chemical and mineral composition of the iron meteorite Dronino by X-ray diffraction and scanning electron microscopy. It is found that the sample is composed of 14-crystalline phases. The surface of the meteorite is a solid iron-nickel matrix with elongated sulfide inclusions.

Keywords: meteorite, crystalline phase, X-ray diffraction analysis, X-ray fluorescence analysis, scanning microscopy.

References

1. Grokhovskiy V.I., Oshtrakh M.I., Milder O.B., Semionkin V.A., Kadushnikov R.M., Glazkova S.A. Structural studies of iron meteorite Dronino // LIP Contribution. 2005. 1980 pdf.
2. Hontsova S.S., Maksimova E.M., Nauhatsky I.A., Milyukova E.T. The study of phase composition of the meteorite Dronino // VI Russian youth conference on fundamental and innovative problems of modern physics. 2015. p. 124 [In Russian].

Динамика экситонного возбуждения в Sr_2IrO_4

Елена Александровна Дикушина, Илья Леонидович Аввакумов

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: dikushina-lena@rambler.ru

В данной работе приведены результаты численного моделирования экситонного возбуждения в квазидвумерном гайзенберговском антиферромагнетике Sr_2IrO_4 . Сравниваются модели Изинга и Гайзенберга, учитывающие обменные взаимодействия и явления переноса возбуждения. Полученный алгоритм используется для расчета спинового структурного фактора и динамических характеристик обеих моделей.

Ключевые слова: квантовый метод Монде-Карло, иридат стронция, перенос возбуждения.

Sr_2IrO_4 относится к оксидам переходных $5d$ -металлов. Под действием сильного спин-орбитального взаимодействия $5d$ -электронов t_{2g} -зона расщепляется и появляется моттовская щель [1]. Sr_2IrO_4 моделируется в виде квадратной решетки с ионами Ir на узлах с псевдоспином $S = 1/2$. Возбужденному состоянию соответствует $S = 3/2$ [1, 2]. Гамильтониан имеет вид

$$H = J_{\parallel} \sum_{\langle ij \rangle} S_i^z S_j^z + J_{\perp} \sum_{\langle ij \rangle} S_i^+ S_j^- - W \sum_{\langle ij \rangle} X_i^+ X_j,$$

где J_{\parallel} , J_{\perp} – константы обменного взаимодействия, S_i^+ , S_j^- – операторы увеличения и уменьшения проекции псевдоспина, W – параметр переноса, X_i^+ , X_j – операторы рождения и уничтожения экситона. Модели Изинга соответствует $J_{\perp} = 0$, модели Гайзенберга – $J_{\perp} = J_{\parallel}$. Для моделирования системы используется метод Stochastic Series Expansion [3].

Литература

1. Kim B.J., Jin H., Moon S.J. et al. // Phys. Rev. Lett. 2008. V. 101. № 7.
2. Kim J., Casa D., Upton M.H., Gog T. et al. // 2012. Phys. Rev. Lett. V. 108. № 17.
3. Sandvik A.W and Kurkijarvi J. // Phys. Rev. B. 1991. V. 43. № 7. p. 5950.

Dynamics of Excitons in Sr_2IrO_4

E.A. Dikushina, I.L. Avvakumov

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin
620002, 19, Mira str, Yekaterinburg;
e-mail: dikushina-lena@rambler.ru

Received December 22, 2015

PACS: 02.70.Ss 71.30.+h 75.47.Lx

This paper presents results of a numerical simulation of excitons in quasi-two-dimensional Heisenberg antiferromagnet Sr_2IrO_4 . Ising and Heisenberg models are compared, taking in consideration exchange coupling and exciton hopping. As result of this simulation the spin structure factor and dynamic characteristics of both models are calculated.

Keywords: quantum Monte-Carlo, strontium iridate, exciton hopping.

References

1. Kim B.J., Jin H., Moon S.J. *et al.* // Phys. Rev. Lett. 2008. V. 101. № 7.
2. Kim J., Casa D., Upton M.H., Gog T. *et al.* // 2012. Phys. Rev. Lett. V. 108. № 17.
3. Sandvik A.W and Kurkijärvi J. // Phys. Rev. B. 1991. V. 43. № 7. p. 5950.

Электрические свойства графита, графена и смесей графита с оксидом циркония при давлениях от 7 до 44 ГПа

Александр Валерьевич Жарков, Галина Владимировна Тихомирова,
Алексей Николаевич Бабушкин

Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина
Екатеринбург, проспект Ленина, 51, ИЕН; e-mail: gvizdon@gmail.com

В данной работе проведены исследования ТЭДС графита, графена и смесей графита с оксидом циркония при давлениях от 7 до 44 ГПа. Из полученных данных рассчитаны химический потенциал и концентрация носителей заряда исследуемых материалов. Полученные данные позволяют судить о внутренних изменениях структуры при воздействии высокого давления.

Ключевые слова: графит, графен, ТЭДС, оксид циркония, химический потенциал, концентрация носителей заряда, высокое давление.

Проведены измерения ТЭДС образцов графита, графена. А также смесей графита с оксидом циркония в объемных пропорциях 40% на 60%, 50% на 50%, 11% на 89% соответственно при давлениях до 44 ГПа. Установлены особенности поведения ТЭДС, произведены расчеты химического потенциала и концентрации носителей заряда.

Для изучения процессов, проходящих в материалах при воздействии высокого давления удобно использовать ТЭДС, как чувствительный и доступный для измерений параметр. Измерение ТЭДС позволяют наблюдать внутренние изменения структуры, а также оценивать обратимость этих изменений после обработки материала. Кроме того, количественная оценка ТЭДС материала позволяет произвести расчет его химического потенциала и концентрации носителей заряда [1].

Для измерений использовалась камера высокого давления с наковальнями типа «закругленный конус-плоскость», изготовленными из искусственных поликристаллических алмазов «карбонадо» [2]. Наковальни имеют сопротивление несколько ohm , которое слабо меняется с изменением давления и температуры. Для измерения температуры образца применялись термопары медь-константан, разность температур между наковальнями при исследованиях составляла порядка одного градуса.

Были получены зависимости ТЭДС графена, графита, смесей графита с оксидом циркония в диапазоне давлений от 6.7 ГПа до 44 ГПа. На рисунке 1 представлены зависимости ТЭДС от давления для образцов графита и графена. Известно, что при давлениях от ~16 до ~36 ГПа в графите происходит фазовый переход [3-4]. Из графика видно, что качественно поведение ТЭДС графена марки MSG-75 (полученного из

натурального графита) и MSG-76 (полученного из искусственного графита) схоже с поведением ТЭДС графита, наблюдаются особенности в тех же диапазонах давлений. Тем не менее видно и отличие зависимостей ТЭДС(P) для графита и графена (особенно для марки MSG-76).

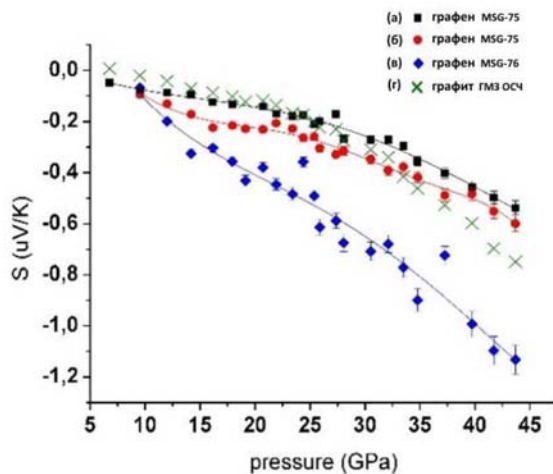


Рисунок 1. Барическая зависимость ТЭДС графена (абв) и графита(г).

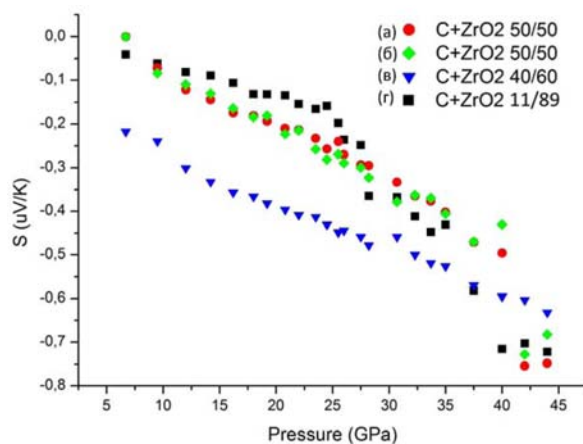


Рисунок 2. Барическая зависимость ТЭДС смесей графита с оксидом циркония.

Зависимости ТЭДС смесей представлены на рисунке 2. Видно, что качественное и количественное поведение ТЭДС смесей графита с оксидом циркония при обработке высоким давлением так же схоже с поведением зависимости ТЭДС графита от давления. Приложение давления вызывает увеличение абсолютной величины ТЭДС. Установлено, что в поведении ТЭДС смесей графита с оксидом циркония в зависимости

от давления существует особенность в диапазоне давлений от ~22 ГПа до ~34 ГПа. Эта особенность, вероятно, связана с фазовыми переходами в графите [3]. Так же наблюдается особенность поведения ТЭДС в области ~40 ГПа, которая, вероятно, обусловлена содержанием оксида циркония в смеси.

При исследовании кинетики изменения ТЭДС графена во времени при изменении давления время релаксации для графита и смеси графита с оксидом циркония укладывается в диапазоне одной минуты, постепенно уменьшаясь при увеличении давления. Высокое содержание графита в образцах не позволяет наблюдать вероятные особенности поведения ТЭДС оксида циркония при давлениях до 30 ГПа, в связи с преобладающим влиянием графита на ТЭДС, и его более высокой электропроводностью. При давлениях выше 30-35 ГПа вклад оксида циркония становится сопоставим с вкладом графита и проявляются особенности, связанные с содержанием в образцах оксида циркония.

Из полученных значений ТЭДС для исследуемых образцов были проведены расчеты химического потенциала и концентрации носителей заряда [1]. Оцененные значения приведены в таблице

Давление	P = 6,7 ГПа		P = 44 ГПа	
	μ , eV	$n \cdot 10^{28}$	μ , eV	$n \cdot 10^{28}$
Графит	8,71	7,49	7,44	5,91
Графен	20,86	27,72	8,15	6,77
C+ZrO 40/60	11,92	11,98	6,82	5,19
C+ZrO 11/89	17,06	20,52	12,27	12,51

Из полученных значений видно, что с увеличением давления происходит уменьшение концентрации носителей заряда. Так же в смесях углерода с оксидом циркония концентрация носителей заряда выше, чем в чистом графите.

Литература

1. *Бабушкин А.Н.* «Электропроводность и термоЭДС галогенидов щелочных металлов и других материалов при давлениях 20-50 ГПа», Диссертация докт. физ.-мат. наук, Свердловск, 1992.
2. *Верещанин Л.Ф., Яковлев Е.Н. и др.* Письма в ЖЭТФ 16, N 4, (1972).
3. *Quan Li, Yanming Ma, Artem R. Oganov*, Superhard DOI: 10.1103 / PhysRevLett.102.
4. *Pierson, Hugh O.* Handbook of carbon, graphite, diamond, and fullerenes, Noyes Publications 1993.

Electrical Properties of Carbon, Graphene and Mixtures of Graphite with Zirconia under Pressure from 7 to 44 GPa

A.V. Zharkov, G.V. Tihomirova, A.N. Babushkin

*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin
620002, 19 Mira Street, Ekaterinburg, Russia; e-mail: Gvizdon@gmail.com*

Received December 25, 2015

PACS: 72.15

This paper presents an overview of the results of experimental studies of thermopower in carbon, graphene and mixtures of carbon with zirconia under pressure from 7 to 44 GPa. Charge carrier density and chemical potential was calculated from experimental for all materials. This data allow us to observe inner structure changes in reviewed materials.

Keywords: graphite, graphene, zirconia, chemical potential, carrier density thermopower.

References

1. *Babushkin AN* "Electrical conductivity and thermoelectric power of alkali halides and other materials at pressures of 20-50 GPa" Thesis dokt.of phys-math sc. Sciences, Sverdlovsk, 1992 [in Russian].
2. *Vereshchagin LF, Yakovlev EN and others.* JETP Letters 16, N 4 (1972) [in Russian].
3. *Quan Li, Yanming Ma, Artem R. Oganov,* Superhard DOI: 10.1103 / PhysRevLett.102.
4. *Pierson, Hugh O.* Handbook of carbon, graphite, diamond, and fullerenes, Noyes Publications 1993.

Регистрирующая система координатно-трекового детектора на дрейфовых камерах

Егор Александрович Задеба

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Научно-образовательный центр НЕВОД
115409, г. Москва, Каширское ш., 31; e-mail: EAZadeba@mephi.ru

В НИЯУ МИФИ разрабатывается крупномасштабный координатно-трековый детектор на дрейфовых камерах для регистрации околоразностного потока мюонов космических лучей сверхвысоких энергий совместно с установками экспериментального комплекса НЕВОД. Детектор основан на многопроволочных дрейфовых камерах, разработанных в ИФВЭ для экспериментов на нейтринном канале ускорителя У-70. В работе приводится описание детектора ТРЕК и его регистрирующей системы.

Ключевые слова: космические лучи, дрейфовые камеры, система сбора и обработки данных.

В НИЯУ МИФИ разрабатывается крупномасштабный координатно-трековый детектор ТРЕК на дрейфовых камерах [1], предназначенный для совместной работы с установками экспериментального комплекса НЕВОД: черенковским водным детектором (ЧВД) объемом 2000 м³ и координатным детектором ДЕКОР. Проект нацелен на исследования многочастичных событий под большими зенитными углами, генерируемыми космическими лучами сверхвысоких энергий [2]. Основой детектора служат многопроволочные дрейфовые камеры, разработанные в ИФВЭ для экспериментов на нейтринном канале ускорителя У-70 [3]. Их основными преимуществами являются большая эффективная площадь (1,85 м²) при всего четырех измерительных каналах, хорошая пространственная и угловая точность, а также возможность разделения до 60 треков в многочастичных событиях. Детектор представляет собой две координатные плоскости, полностью перекрывающие боковую апертуру ЧВД. В каждой плоскости 132 дрейфовые камеры, эффективная площадь которых суммарно равна 254 м², во внешней плоскости камеры располагаются вертикально, во внутренней горизонтально, при этом их установка осуществляется внахлест для перекрытия мертвых зон.

Регистрирующая система детектора (рис. 1) основана на массиве времяцифровых преобразователей, получающих временную метку от триггерной системы (ТС) НЕВОД, которая осуществляет отбор событий ЧВД, ДЕКОР и системы калибровочных телескопов.

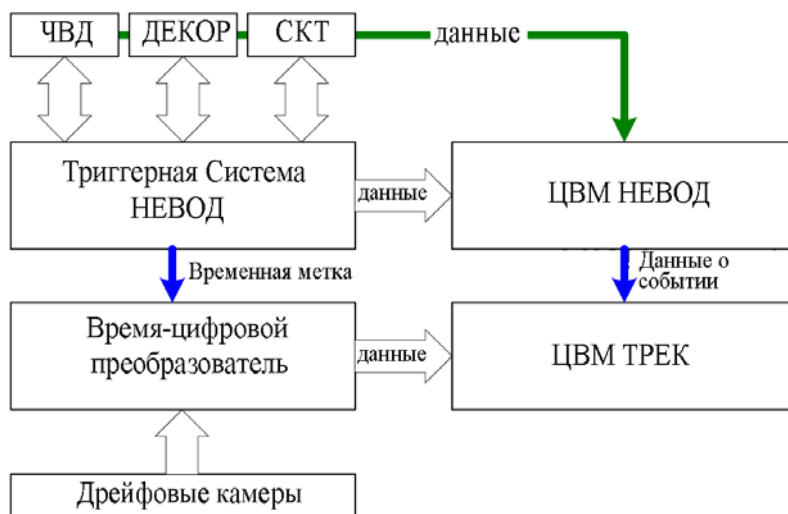


Рисунок 1. Блок-схема совместной работы детектора с триггерной системой НЕВОД.

Среднеквадратичное отклонение времени выработки триггерного сигнала в ТС составляет 25 нс, что соответствует ошибке в определении координаты в дрейфовых камерах в 1 мм и удовлетворяет требованиям эксперимента. Помимо сигнала о произошедшем событии ЦВМ НЕВОД отправляет ЦВМ ТРЕК сетевой пакет с основной информацией о произошедшем событии: номер измерительной серии, номер события, величину отклика ЧВД, номера сработавших супермодулей ДЕКОР и т.п. С помощью этой информации в офлайн режиме осуществляется сшивка данных дрейфовых камер с данными ЧВД и ДЕКОР.

Литература

1. Zadeba E.A. et al. // The coordinate-tracking detector based on the drift chambers for ultrahigh-energy cosmic ray investigations. JINST, Vol. 9, 2014, C08018.
2. Petrukhin A.A. // Nuclear-physical approach to interpretation of results of cosmic ray investigations above the knee. Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.), Vol. 212-213, 2011, P. 235.
3. Bozhko N.I. et al. // Drift chamber for the Serpukhov neutrino detector. Nucl. Instrum. Meth., Vol. A 243, 1986, P. 388.
4. Zadeba E.A. et al. // Status of a development of the large scale coordinate-tracking setup based on the drift chambers. J. Phys.: Conf. Ser., Vol. 632, 2015, 012031.

Registration System of the Coordinate-Tracking Detector Based on Drift Chambers

E.A. Zadeba

*National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)
115409, Moscow, Kashirskoe highway 31, Russia;
e-mail: EAZadeba@mephi.ru*

Received January 26, 2015

PACS: 29.40.Gx, 29.40.Cs

The large-scale coordinate-tracking detector TREK for registration of near-horizontal muon flux generated by ultrahigh energy primary particles jointly with experimental complex NEVOD is being developed in MEPhI. Detector is based on multiwire drift chambers developed in IHEP for neutrino experiments at U-70 accelerator. This work provides a description of the registration system of the installation that will be further expanded and will be used in full-size detector TREK.

Keywords: cosmic rays drift chambers, data acquisition system.

References

1. Zadeba E.A. *et al.* // The coordinate-tracking detector based on the drift chambers for ultrahigh-energy cosmic ray investigations. JINST, Vol. 9, 2014, C08018.
2. Petrukhin A.A. // Nuclear-physical approach to interpretation of results of cosmic ray investigations above the knee. Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.), Vol. 212-213, 2011, P. 235.
3. Bozhko N.I. *et al.* // Drift chamber for the Serpukhov neutrino detector. Nucl. Instrum. Meth., V. A 243, 1986, P 388.
4. Zadeba E.A. *et al.* // Status of a development of the large scale coordinate-tracking setup based on the drift chambers. J. Phys.: Conf. Ser., Vol. 632, 2015, 012031.

Транспортные свойства стеклообразных материалов системы Cu-Ag-Ge-As-Se при температурах 300-400 К

Василиса Евгеньевна Зайкова, Нина Владимировна Мельникова,
Кирилл Викторович Курочка, Ольга Леонидовна Хейфец

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

В настоящей работе представлен анализ результатов температурных исследований транспортных свойств стеклообразных многокомпонентных халькогенидов в интервале температур 300-400 К в постоянном и переменном электрических полях.

Ключевые слова: халькогениды серебра, халькогенидные стёкла, ионная проводимость, энергия активации.

Стеклообразные материалы $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$, $1 \geq x \geq 0,5$ являются смешанными (ионно-электронными) проводниками с высокой долей ионной проводимости и температурой начала заметного ионного переноса значительно ниже комнатной [1-3]. Для данных материалов уже хорошо изучены температурные (температуры ниже комнатной), барические и временные зависимости электрических свойств [1-3]. Особенности поведения электрических параметров этих стеклообразных халькогенидов обеспечили их патентоспособность в качестве резистивных материалов [4], и позволяют предложить их в качестве рабочей среды для новых микроэлектронных устройств, таких как реле-времени [5] и датчик давления [6].

Настоящая работа посвящена выявлению влияния температур до 100°C на электрические свойства смешанных (ионно-электронных) проводников $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$, $0,9 \geq x \geq 0,7$. Измерения проводились в постоянном и переменном (от 1 Гц до 32 МГц) электрическом поле с использованием модульного комплекса ModuLab MTS System и универсального анализатора частотного отклика Salartron 1260.

В постоянном электрическом поле для материалов $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$, $x = 0,9$ и $x = 0,85$ были получены и исследованы зависимости удельной электропроводности от времени приложения постоянной разности потенциалов при температурах от 25°C до 100°C . Выявлено, что с ростом температуры сохраняется экспоненциальный характер временной зависимости удельной электропроводности, свойственный материалам с ионной проводимостью [4, 7]. С увеличением температуры заметно увеличивается значение полной (электронной и ионной) электропроводности.

В переменном электрическом поле для материалов $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$, $0,9 \geq x \geq 0,7$ получены и проанализированы частотные зависимости электрических свойств при температурах от 22°C до 100°C . Годографы ячеек с образцами сохраняют характерный

для ионно-электронных проводников вид – полуокружности в области высоких частот – во всём исследуемом интервале температур, и ветви, связанные с процессами на границе образец-электрод при низких частотах. Исследования температурных зависимостей электрических свойств материалов проводились в области частот электрического поля, где влиянием электродных процессов на результаты измерения можно пренебречь. С увеличением температуры наблюдается заметное уменьшение вещественной части импеданса, рост вещественной части проводимости (рис. 1) и уменьшение времени релаксации носителей заряда. Для исследуемых материалов значение времён релаксации носителей заряда находится в пределах характерных для времени ионно-поляризационной релаксации. Из экспериментальных результатов исследований температурной зависимости электрических свойств проведена оценка энергии активации электропроводности материалов $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$, $0,9 \geq x \geq 0,7$, значения которой $\sim 0,15-0,3$ эВ.

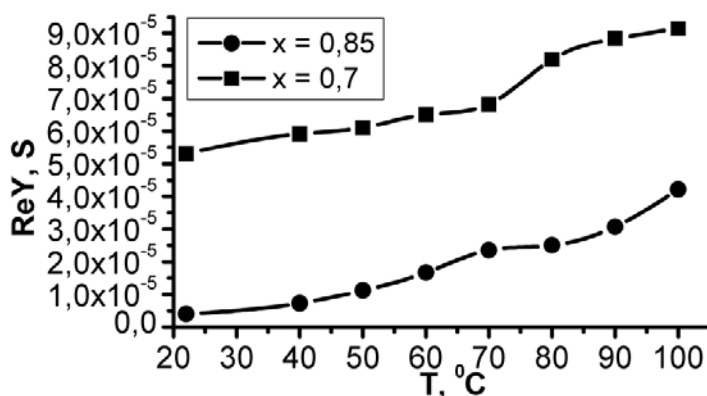


Рисунок 1. Температурная зависимость вещественной части комплексной проводимости $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$, $x = 0,7; 0,85$ при частоте электрического поля $f = 3,2$ кГц (f выбрана из частотной области, где влиянием электродных процессов можно пренебречь).

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-02-00857-а.

Литература

1. Melnikova N., Kheifets O., Babushkin A., Sukhanova G. Transport properties of amorphous

- chalcogenides in the system Cu-Ag-Ge-As-Se in a broad range of temperatures and pressures // European physical journal web of conference, v.15, 2011, 03004.
2. *Kheifets O.L., Filippov A.L., Shakirov E.F., Babushkin A.N., Nugaeva L.L.*, Influence of the Composition on the Electrical Properties of Low-Temperature Ionic Conductors in the system $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$ // Physics of the Solid State, v. 54, №8, 2012, p. 1562-1565.
 3. *Zaikova V.E., Melnikova N.V., Kurochka K.V., Kheifets O.L.* Relaxation of conductivity in amorphous multi-component chalcogenides of copper and silver // Journal of Physics: Conference Series, v. 541, 2014, 012104.
 4. Пат. 2533551 РФ // МПК H01C 7/00, опубл. 20.11.2014, Бюл. №32.
 5. *Зайкова В.Е., Мельникова Н.В., Курочка К.В., Хейфец О.Л.* Перспектива использования стёкол $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$ в качестве активного элемента реле времени // Физическое образование в вузах, т. 21, № 1С, 2015, С. 82-84.
 6. *Мельникова Н.В., Бабушкин А.Н.* Импедансная спектроскопия стеклообразных материалов $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$ при высоких давлениях. // Физика диэлектриков. Материалы XII международной конференции, Санкт-Петербург, 23-26 мая, 2011, С. 256 - 259.
 7. *Melnikova N.V., Kurochka K.V., Kheifets O.L., Kadyrova N.I., Volkova Ya.Yu.*, Atomic Structure and Ionic Conductivity of Glassy Materials Based on Silver Sulfide // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, v. 79, №6, 2015, p. 719–722.

Transport Properties of Glassy Materials from the System Cu-Ag-Ge-As-Se at Temperature Range 300-400 K

V.E. Zaikova, N.V. Melnikova, K.V. Kurochka, O.L. Kheifets

*Ural Federal University named after first president of Russian Federation B.N. Yeltsin
620000, Yekaterinburg, Lenin Avenue, 51; e-mail: vasilisazaykova@gmail.com,
nvm.melnikova@gmail.com, kirill.k.v@yandex.ru, olgakheifets111@gmail.com*

Received December 25, 2015

PACS:72.60

In this paper an analysis of results of temperature investigation of transport properties of glassy multicomponent chalcogenides at temperature range 300-400 K in DC and AC electrical fields.

Keywords: silver chalcogenides, chalcogenide glasses, ionic conductivity, activation energy.

References

1. *Melnikova N., Kheifets O., Babushkin A., Sukhanova G.* Transport properties of amorphous chalcogenides in the system Cu-Ag-Ge-As-Se in a broad range of temperatures and pressures // European physical journal web of conference, v.15, 2011., 03004.
2. *Kheifets O.L., Filippov A.L., Shakirov E.F., Babushkin A.N., Nugaeva L.L.*, Influence of the Composition on the Electrical Properties of Low-Temperature Ionic Conductors in the system $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$ // Physics of the Solid State, v. 54, №8, 2012, p. 1562-1565.
3. *Zaikova V.E., Melnikova N.V., Kurochka K.V., Kheifets O.L.* Relaxation of conductivity in amorphous multi-component chalcogenides of copper and silver // Journal of Physics: Conference Series, v. 541, 2014, 012104.
4. Patent 2533551 RF, published 20.11.2014, bulletin №32.
5. *Zaikova V.E., Melnikova N.V., Kurochka K.V., Kheifets O.L.* The prospect of using glasses $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$ as an active element of the time switch // Физическое Образование в ВУЗах, v. 21, № 1С, 2015, p. 82-84 [in Russian].
6. *Melnikova N.V., Babushkin A.N.* Impedance spectroscopy glassy materials $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GeAsSe}_3$ at high pressures.// Physics of Dielectrics. Proceedings of the VII International Conference, Saint-Petersburg, May 23-26, 2011, p. 256 – 259 [in Russian].
7. *Melnikova N.V., Kurochka K.V., Kheifets O.L., Kadyrova N.I., Volkova Ya.Yu.*, Atomic Structure and Ionic Conductivity of Glassy Materials Based on Silver Sulfide // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, v. 79, №6, 2015, p. 719–722.

Анизотропия коэффициента электромеханической связи

Анастасия Игоревна Замковская, Елена Михайловна Максимова

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

В работе исследована зависимость коэффициента электромеханической связи, описывающего способность пьезоэлектрика преобразовывать механическую энергию в электрическую и, наоборот, от кристаллографического направления.

Ключевые слова: анизотропия, коэффициент электромеханической связи, пьезоэлектрический эффект.

Многие физические свойства кристаллов анизотропны, т.е. зависят от направления. Примером может служить пьезоэлектрический эффект – появление механически индуцированных электрических зарядов на поверхности некоторых деформированных диэлектриков.

Наиболее полно пьезоэффект характеризует энергетический коэффициент, называемый коэффициентом электромеханической связи k . Он определяет эффективность преобразования механической энергии, подводимой к материалу, в электрическую (и наоборот) и может быть рассчитан с помощью пьезоэлектрических d , упругих S и диэлектрических коэффициентов ϵ :

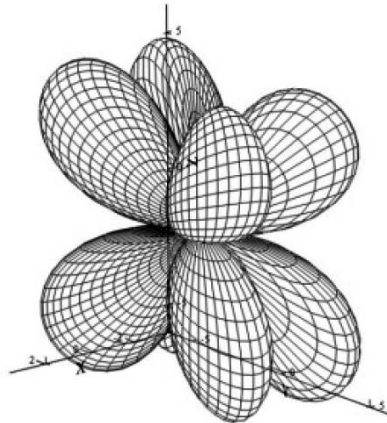
$$k^2 = \frac{d^2}{\epsilon_0 \epsilon S}.$$

Так как коэффициент электромеханической связи зависит от анизотропных величин, то он так же анизотропен и может быть описан с помощью указательных поверхностей, радиус-вектор которых пропорционален величине свойства в данном направлении.

По виду – это многополостные поверхности, состоящие из равных положительных и отрицательных частей, обусловленных сменой знака поляризации при смене направления продольной деформации (сжатие \leftrightarrow растяжение). Симметрия ориентационной зависимости коэффициента электромеханической связи определяется кристаллофизическим принципом Неймана, согласно которому симметрия кристаллического свойства должна включать в себя элементы симметрии самого кристалла.

На рисунке, в качестве примера, изображена указательная поверхность коэффициентов электромеханической связи кристалла сегнетовой соли, построенная

в пакете прикладных программ MathCad. Симметрия свойства совпадает с симметрией кристалла и описывается группой 222.



Литература

1. Вустер У. Применение тензоров и теории групп для описания физических свойств кристаллов. Пер.- М.: Мир, 1977.

Anisotropy of the Electromechanical Coupling Coefficient

A.I. Zamkovskaya, E.M. Maksimova

V.I. Vernadsky Crimean Federal University

295007, Simferopol, Vernadsky Ave, 4;

e-mail: trabem.z@gmail.com, lenamax112@rambler.ru

Received January 13, 2016

PACS: 77.65

We have studied the dependence of electromechanical coupling coefficient, which describes the ability of a piezoelectric material to convert the mechanical energy into electricity and, inversely, on the crystallographic direction.

Keywords: anisotropy, electromechanical coupling coefficient, piezoelectric effect.

References

1. Wooster W.A. Tensors and group theory for the physical properties of crystals (Oxford: Clarendon Press), 1973 [in Russian].

Изучение устойчивости эпитаксиальных слоев GeSn к термическим воздействиям

Виктор Петрович Мартовицкий¹, Юрий Григорьевич Садофьев¹,
Алексей Владимирович Клековкин¹, Владимир Васильевич Сарайкин²,
Иван Сергеевич Васильевский³

¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

119991, г. Москва, Ленинский пр., д. 53; e-mail: aklekovkinbox@gmail.com

² ФГУП НИИ физических проблем им. Ф.В. Лукина

124460, г. Москва, Зеленоград, 4й Западный проезд, д. 5; e-mail: vvsaraykin@yandex.ru

³ Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ

115409, г. Москва, Каширское шоссе, 31; e-mail: ivasilevskii@mail.ru

В данной работе для выяснения термической устойчивости эпитаксиальных слоев GeSn на пластине кремния (001) была выращена пятислойная структура GeSn/Ge с толщами слоев GeSn 200 нм каждый, разделенные прослойками из германия толщиной 20 нм. Мольную долю олова в слоях GeSn увеличивали от 0.05 до 0.1 по мере удаления от германиевого буфера, за счет изменения температуры источника олова при переходе от слоя к слою. Выращенная структура была подвергнута быстрому отжигу в течение 2 минут в атмосфере особо чистого азота при температурах 300-500 °С. Структурная деградация слоев GeSn возрастала с ростом концентрации олова с выходом последнего на внешнюю поверхность образца, но прослойки германия между слоями оставались почти неизменными, что свидетельствует о преимущественном движении олова по границе зерен и дислокациям.

Ключевые слова: твердые растворы GeSn, фазовый распад, пластическая релаксация.

Твердые растворы $Ge_{1-x}Sn_x$ перспективны в качестве материала с прямой структурой запрещенной зоны на основе элементарных полупроводников с кристаллической решеткой алмаза. Проведен ряд исследований, результатом которых стало наблюдение прямых в пространстве импульсов оптических переходов в спектрах фотолюминесценции вплоть до комнатной температуры [1]. При очевидной перспективности рассматриваемой системы материалов для фундаментальных исследований и практического применения имеется ряд причин, осложняющих получение экспериментальных образцов, обладающих высоким кристаллическим совершенством.

Термодинамически равновесный предел растворимости α -Sn, обладающего кристаллической решеткой типа алмаза и существующего только при температуре ниже 13,5 °С, в германии не превышает $x = 0.005$. Следовательно, твердые растворы GeSn с мольной долей олова, представляющей практический интерес, могут быть получены только в далеких от термодинамического равновесия условиях. Они с неизбежностью будут метастабильными, с тенденцией к фазовому распаду при внешних воздействиях. Рентгеновская дифрактометрия (XRD) и вторичная ионная масс-спектрометрия были

использованы в качестве основных методов исследования образцов. Результаты влияния отжига на вид рентгеновских дифрактограмм и профили распределения олова, измеренные методом SIMS, приведены на (рис. 1).

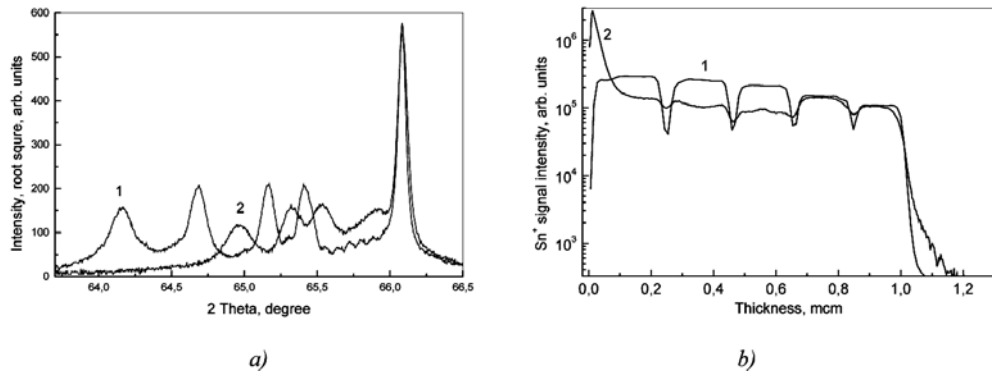


Рисунок 1. XRD кривые сканирования на рефлексе (004) (а) и SIMS профили распределения олова (б) в структуре, содержащей пять слоев GeSn с различной мольной долей олова, разделенных тонкими прослойками из германия. 1 – после выращивания образца; 2 – после отжига структуры в течение 2 минут при температуре 400°C.

В ходе работы было обнаружено, что, при отжиге слоев GeSn происходят два конкурирующих процесса, а именно фазовый распад твердого раствора с последующим выходом олова на поверхность структуры в основном по границам зерен, а также пластическая релаксация твердого раствора без изменения его состава. Доминирование того или иного процесса определяется величиной мольной доли олова. Концентрация дефектов в слоях GeSn, выращенных на виртуальной подложке Ge, так велика, что степень пластической релаксации не оказывает особенного влияния на процесс распада твердого раствора и диффузии олова.

Работа поддержана грантами Российского фонда фундаментальных исследований № 13-02-00680 А и № 13-02-12164 офи_м.

Литература

1. Ragan R., Atwater H.A. Measurement of the direct energy gap of coherently strained Sn_xGe_{1-x}/Ge(001) heterostructures // Applied Physics Letters, vol. 77, 2000, P. 3418.

Thermal stability of Ge/GeSn Nanostructures Grown by MBE on (001) Si/Ge Virtual Wafers

Yu.G. Sadofyev^{1,3}, V.P. Martovitsky¹, A.V. Klekovkin¹,
V.V. Saraikin², and I.S. Vasil'evskii³

¹Physical Institute P. N. Lebedev RAS

119991, Moscow, Leninsky prospect, 53; e-mail: aklekovkinbox@gmail.com

²FSUE research Institute of physical problems n. a. F. V. Lukin

124460, g. Moskva, Zelenograd, 4th West passage, 5; e-mail: vvsaraykin@yandex.ru

³National research nuclear University MEPhI

115409, Moscow, Kashirskoe shosse, 31; e-mail: ivasilevskii@mail.ru

Received December 25

PACS: 64.70.kg

A stack of five metastable 200-nm-thick elastically strained GeSn epitaxial layers separated by 20-nm-thick Ge spacers was grown on (001) Si/Ge virtual substrate by MBE. The molar fraction of Sn in different layers varied from 0.005 to 0.10, increasing with the layer distance from the Ge buffer. The phase separation of the GeSn alloy during postgrowth annealing takes place along with plastic relaxation. The phase separation begins well before the completion of the plastic relaxation process. The degree of phase separation at a given annealing temperature depends strongly on the Sn content in the GeSn alloy. The Sn released from the decomposed GeSn alloy predominantly accumulates as an amorphous layer on the surface of the sample.

Keywords: GeSn alloy, plastic relaxation, phase separation.

References

1. Ragan R., Atwater H.A. Measurement of the direct energy gap of coherently strained Sn_xGe_{1-x}/Ge(001) heterostructures // Applied Physics Letters, vol. 77, 2000, P. 3418.

Учет барометрического и температурного эффектов в данных сцинтилляционного мюонного годоскопа за 2015 г.

Анна Александровна Ковыляева, Николай Владимирович Ампилогов,
Анна Николаевна Дмитриева, Виктор Викторович Шутенко,
Игорь Иванович Яшин

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

Для изучения вариаций потока мюонов, вызванных внеатмосферными эффектами, необходимо учитывать метеорологические эффекты. Для этого необходимо знать давление в точке регистрации и зависимость температуры воздуха от высоты. В данной работе проведено сравнение вертикальных профилей температуры, получаемых со спутников NOAA и по модели GDAS (Global Data Assimilation System), с данными Центральной Аэрологической Обсерватории (ЦАО, г. Долгопрудный) для стандартных изобарических уровней. Проведена корректировка данных сцинтилляционного мюонного годоскопа (СцМГ) на температурный эффект по данным ЦАО, спутников NOAA и GDAS. Представлен темп счета установки СцМГ без коррекции и с коррекцией на температурный эффект по данным ЦАО, «Алиса-СК» и GDAS. Сравнение показало отличное согласие.

Ключевые слова: мюоны, барометрический эффект, температурный эффект.

При исследовании вариаций потока мюонов, вызванных внеатмосферными явлениями, необходимо вносить поправки на барометрический (БЭ) и температурный эффект (ТЭ) [1]. Для расчета ТЭ необходимо знать зависимость температуры воздуха от высоты. Обычно эту информацию получают по данным запусков аэрологических зондов, которые запускаются два-четыре раза в сутки. Например, для введения поправок на ТЭ используются данные аэрологических зондов ЦАО г. Долгопрудный [2]. К сожалению, бывают дни, когда запуски зондов не проводились, или зонд поднимался недостаточно высоко. Альтернативным источником информации являются данные спутниковых наблюдений. В настоящее время в околоземном пространстве функционирует четыре спутника NOAA [3], на которых установлены детекторы, позволяющие восстанавливать параметры атмосферы. Два спутника NOAA-18 и NOAA-19 в среднем пролетают над территорией Московской области 4 раза в сутки с интервалом от 10 минут до 16 часов. Спутниковые данные можно получать при помощи приемной станции «Алиса-СК», которая была установлена на территории НИЯУ МИФИ в ноябре 2013 г. Также источником данных температуры воздуха является численная модель атмосферы для предсказания погоды – Глобальная система сбора данных (The Global Data Assimilation System, GDAS) [4]. Проведена корректировка данных сцинтилляционного мюонного годоскопа на барометрический и температурный эффекты по

данным по данным ЦАО, “Алиса-СК” и GDAS, сравнение показало хорошее согласие.

Литература

1. *Dmitrieva A.N., Kokoulin R.P., Petrukhin A.A., Timashkov D.A.* Corrections for temperature effect for ground-based muon hodoscopes // *Astroparticle Physics*. 2011. Vol. 34. № 6. P.401-411.
2. Центральная Аэрологическая Обсерватория: <http://www.aerology.org/>
3. Спутники NOAA: <http://www.noaa.gov/satellites.html>
4. NOAA Air Resources Laboratory (ARL), 2004, <http://ready.arl.noaa.gov/gdas1.php>, Tech. rep.

Accounting of Barometric and Temperature Effects in the Data of Scintillation Muon Hodoscope for 2015

A.A. Kovylyayeva, N.V. Ampilogov, A.N. Dmitrieva, V.V. Shutenko, I.I. Yashin

*National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute)
115409, Moscow, Kashirskoe shosse, 31; e-mail: AAKovylyayeva@mephi.ru*

Received January 14, 2016

PACS: 95.85.Ry

For the analysis of muon flux variations caused by extra-atmospheric processes it is necessary to introduce corrections for meteorological effects. It is necessary to know the pressure at the observation level and the temperature profile of the atmosphere. Vertical temperature profiles obtained from NOAA satellites, GDAS (Global Data Assimilation System) and CAO data (Central Aerological Observatory, Russia) for standard isobaric levels were compared. The data of scintillation muon hodoscope (ScMH) were corrected for temperature effect using the data of NOAA satellites, GDAS and CAO data. Comparison of URAGAN data corrected for TE with CAO information, satellites and GDAS shows a good agreement.

Keywords: muons, barometric effect, temperature effect.

References

1. *Dmitrieva A.N., Kokoulin R.P., Petrukhin A.A., Timashkov D.A.* Corrections for temperature effect for ground-based muon hodoscopes // *Astroparticle Physics*. 2011. V. 34. № 6. Pp.401-411.
2. Central Aerological Observatory (Russia, Dolgoprudny): <http://www.aerology.org/>
3. NOAA satellites: <http://www.noaa.gov/satellites.html>.
4. NOAA Air Resources Laboratory (ARL), 2004, <http://ready.arl.noaa.gov/gdas1.php>, Tech. rep.

Кластер сцинтилляционных детектирующих станций установки НЕВОД-ШАЛ

Олег Иванович Ликий

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Научно-образовательный центр НЕВОД
115409, г. Москва, Каширское ш., 31; e-mail: OILikiy@mephi.ru

В 2015 году на территории НИЯУ МИФИ была создана центральная часть установки НЕВОД-ШАЛ (5 кластеров) для регистрации, определения направления прихода, положения оси и мощности широких атмосферных ливней (ШАЛ) в области энергий первичных космических лучей от 10^{15} до 10^{17} эВ, а также начато проведение тестовых и экспериментальных серий измерений. Основным структурным элементом новой установки является кластер сцинтилляционных детектирующих станций. В работе представлено описание и принцип кластера НЕВОД-ШАЛ, а также результаты проведенных экспериментальных и тестовых серий измерений.

Ключевые слова: космические лучи, широкий атмосферный ливень, кластер сцинтилляционных детекторов, сцинтилляционный детектор.

Основным структурным элементом установки НЕВОД-ШАЛ [1-3], предназначенной для определения направления прихода, положения оси и мощности широких атмосферных ливней (ШАЛ) в области энергий первичных космических лучей от 10^{15} до 10^{17} эВ, является кластер сцинтилляционных детектирующих станций (ДС). В состав кластера входят 4 ДС, размещенные в вершинах прямоугольника с характерными длинами сторон ~ 20 м. Каждая ДС состоит из 4-х сцинтилляционных счетчиков частиц электронно-фотонной компоненты ШАЛ, размещенных внутри защитных корпусов. Сигналы со счетчиков кластера поступают в локальный пункт сбора и первичной обработки данных, осуществляющий их оцифровку, отбор событий по заданным триггерным условиям и передачу данных в центральный пункт управления, сбора и обработки данных.

В 2015 году на территории НИЯУ МИФИ в составе экспериментального комплекса НЕВОД [4] были размещены 5 кластеров ливневой установки НЕВОД-ШАЛ, составляющие ее центральную часть, а также начато проведение серий измерений, входе которых исследовались параметры работы кластеров: темп счета событий при различных триггерных условиях, отклик ДС и сцинтилляционных счетчиков при регистрации одиночных мюонов, временные параметры отклика кластеров при регистрации ШАЛ.

В докладе обсуждаются особенности конструкции кластеров НЕВОД-ШАЛ. Представлены методики и результаты исследования основных параметров отклика,

проведенного в ходе тестовых серий измерений на центральной части НЕВОД-ШАЛ.

Работа выполнена на уникальной научной установке НЕВОД при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (проект RFMEFI59114X0002).

Литература

1. Shulzhenko I.A., Amelchakov M.B., Barbashina N.S., et al. // Journal of Physics: Conference Series. Vol. 409 (1). 2013. Article number 012098.
2. Yashin I.I., Amelchakov M.B., Ampilogov N.V. // Journal of Physics: Conference Series. Vol. 632. 2015. Article number 012029.
3. Shulzhenko I.A., Amelchakov M.B., Ampilogov N.V. et al. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. Vol. 79 (3). 2015. P. 389.
4. Сайт УНУ НЕВОД: <http://ununevod.mephi.ru/ru/>

Cluster of Scintillation Detector Stations of the NEVOD-EAS Array

O.I. Likiy

*National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute),
Scientific and Educational Centre NEVOD,
115409, Moscow, Kashirskoe sh., 31; e-mail: OILikiy@mephi.ru*

Received January 14, 2016

PACS: 96.50.sd

In 2015 on the MEPHI territory, the central part of the NEVOD-EAS array (5 clusters) for the registration of extensive air showers (EAS) in the primary cosmic ray energy range from 10^{15} to 10^{17} eV and for the determination of their arrival direction, axis position and size was created. The experimental and test series of measurement were started. The basic structural element of the new setup is a cluster of scintillation detector stations. The NEVOD-EAS cluster construction and operation principle are described. The results of the carried out test and experimental series are presented.

Keywords: cosmic rays, extensive air shower, cluster of scintillation detectors, scintillation detector.

References

1. *Shulzhenko I.A., Amelchakov M.B., Barbashina N.S., et al.* // Journal of Physics: Conference Series. Vol. 409 (1). 2013. Article number 012098.
2. *Yashin I.I., Amelchakov M.B., Ampilogov N.V.* // Journal of Physics: Conference Series. Vol. 632. 2015. Article number 012029.
3. *Shulzhenko I.A., Amelchakov M.B., Ampilogov N.V. et al.* // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. Vol. 79 (3). 2015. P. 389.
4. Web-site of the Unique Scientific Facility NEVOD: <http://ununevod.mephi.ru/en/>

Фрагментация релятивистских радиоактивных ядер ^{10}C в ядерной фотоэмульсии

Бунёджон Абдувахобович Синдоров¹,
Самариддин Сатторович Аликулов¹,
Рахматилла Нурмурадович Бекмирзаев¹, Павел Игоревич Зарубин²,
Кахрамон Зиядуллаевич Маматкулов^{1,2}

¹ Джизакский государственный педагогический институт им. А. Кадыри
708000, г. Джизак, Узбекистан

²ОИЯИ, 141980, г. Дубна, Россия; e-mail: kahramon@lhe.jinr.ru, sanar@lhe.jinr.ru,
bekmirzaev@mail.ru, zaubin@lhe.jinr.ru

В данной работе представлена зарядовая топология, угловые и импульсные характеристики событий фрагментации релятивистских радиоактивных ядер ^{10}C с энергией 1,2 А ГэВ в ядерной фотографической эмульсии.

Ключевые слова: ядерная эмульсия, фрагментация, зарядовая топология, кластеризация.

Метод ядерной фотоэмульсии обеспечивает уникальную по полноте наблюдаемость множественных систем релятивистских фрагментов. Решающее значение имеет угловое разрешение, а, значит, лежащее в его основе пространственное, которое составляет в методе ядерной эмульсии рекордную величину – 0,5 мкм [1]. В ясно интерпретируемых реакциях фрагментации ядер $^{10}\text{C} \rightarrow ^9\text{C}$, т.е. с выбиванием нейтрона образованием фрагментов ядра мишени или мезонов, будут исследованы импульсные спектры ядер ^9C . Эта информация позволит в рамках статистической модели сделать вывод об импульсном распределении глубоко связанных нейтронов в ядре ^{10}C и сравнить их с данными по внешнему нейтрону в ядре ^9Be и протону в ядре ^8B .

Генерация ядер ^{12}N и ^{10}C возможно в реакциях перезарядки и фрагментации ускоренных ядер ^{12}C . Пучок ядер ^{12}C с импульсом 2 А ГэВ/с был ускорен на нуклотроне ОИЯИ и выведен на производящую мишень в 2006 году [2].

Из 7241 найденных неупругих взаимодействий, были отобраны события, в которых суммарный заряд фрагментов равен заряду ядра-снаряда $Z_0 = 6$ (608 событие). Фрагменты налетающего ядра в этих событиях вылетают в пределах узкого переднего конуса, угловой конус фрагментации составляет $\theta_{\text{fr}} \leq 8^\circ$.

В таблице приведено распределение по каналам диссоциации числа звезд N_{fr} сопровождаемых фрагментами, для которых выполняется условие $Z_{\text{пр}} = \Sigma Z_{\text{fr}}$ и $\Sigma Z_{\text{fr}} = 6$.

Благодаря отсутствию стабильных изотопов ^9B и ^8Be , события с фрагментами с зарядами $Z_{\text{fr}} = 6, 5, 4$ и 3 идентифицированными зарядами $Z_{\text{пр}} = 6$, интерпретируется как $^{10}\text{C} \rightarrow ^9\text{C} + n$; $^{10}\text{C} \rightarrow ^9\text{B} + p$; $^{10}\text{C} \rightarrow ^7\text{Be} + ^3\text{He}$ и $^{10}\text{C} \rightarrow ^7\text{Li} + 3\text{H}$. Канал $^{10}\text{C} \rightarrow ^9\text{C} + n$

имеют наиболее большой порог 21 МэВ и составляют около 5% статистика событий когерентной диссоциации с $\Sigma Z_{fr} = 6$. Среднее значение распределения по полярному углу θ равно $\langle \theta_c \rangle = (15,4 \pm 1,6) \times 10^{-3}$ рад (RMS = $9,14 \times 10^{-3}$ рад).

Канал (^{10}C)	$N_{ws} = 227$	100%	$N_{tf} = 627$	100%
$2\text{He} + 2\text{H}$	186	81.9	361	57.6
$\text{He} + 4\text{H}$	12	5.3	160	25.5
3He	12	5.3	15	2.4
6H	9	4.0	30	4.8
$\text{Be} + \text{He}$	6	2.6	17	2.7
$\text{B} + \text{H}$	1	0.4	12	1.9
$\text{Li} + 3\text{H}$	1	0.4	2	0.3
$^9\text{C} + n$	—	—	30	4.8

Угловые измерения позволяют оценить с точностью несколько процентов поперечные импульсы фрагментов P_t согласно формуле $P_t = A_{fr} P_0 \sin \theta$.

Распределение поперечных импульсов фрагментов P_T отражает механизм когерентной диссоциации, имеющие средние значения $\langle Pt(^9\text{C}) \rangle = 270,4 \pm 29,4$ МэВ/с, при RMS 160,9 МэВ/с.

Литература

1. The BECQUEREL Project, <http://becquerel.jinr.ru/>.
2. Каттабеков Р.Р., Маматкулов К.З., Артеменков Д.А., Броднова В., Русакова В.В., Рукояткин П.А., Малахов А.И., Зарубин П.И., Зарубина И.Г. // ЯФ. 2010. Т. 73. С. 2166-2171.

Fragmentation of Relativistic Radioactive Nuclei ^{10}C in Nuclear Photo Emulsion

B.A. Sindrov¹, S.S. Alikulov¹, R.N. Bekmirzaev¹, P.I. Zarubin², K.Z. Mamatkulov^{1,2}

¹ *A.Kadyry Jizzakh State Pedagogical Institute*

708000, Jizzakh, Uzbekistan; e-mail: samar@lhe.jinr.ru, bekmirzaev@mail.ru

² *JINR, 141980, Dubna, Russia; e-mail: zarubin@lhe.jinr.ru, kahramon@lhe.jinr.ru*

Received December 25, 2015

PACS: 75.60.Ch, 75.70.Ak

This paper presents the charge topology, angular and momentum characteristics of the events fragmentation of relativistic radioactive nuclei ^{10}C with energy 1,2 A GeV in nuclear photographic emulsion.

Keywords: nuclear emulsion, fragmentation, charge topology, clustering.

References

1. The BECQUEREL Project, <http://becquerel.jinr.ru/>.
2. Katabekov R.R., Mamatkulov K.Z., Artemenkov D.A., Bradnova V., Rusakova V.V., Rukoyatkin P.A., Malaxov A.I., Zarubin P.I., Zarubina I.G. // NucPhy. 2010. v. 73, Pp. 2166-2171 [in Russian].

Свойства центральности СС-соударений при 4,2 ГэВ/с на нуклон

Бунёджон Абдувахобович Синдоров¹,
Самариддин Сатторович Аликулов¹,
Рахматилла Нурмурадович Бекмирзаев¹, Мамадали Султанов²,
Кахрамон Зиядуллаевич Маматкулов¹

¹ Джизакский государственный педагогический институт им. А. Кадыри
708000, г. Джизак, Узбекистан

² Самаркандский государственный университет им. А. Навои
140104, г. Самарканд, Узбекистан; e-mail: kahramon@lhe.jinr.ru

В данной работе представлено результаты исследований СС-соударений при 4,2 ГэВ/с на нуклон в пузырьковой камере. Полученные результаты сравниваются с моделями Глаубера и FRITIOF.

Ключевые слова: ядро-ядерных взаимодействий, пузырьковая камера, нуклотрон, модель.

Исследования адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействий при высоких энергиях имеют большую практическую значимость. Важным свойством соударений адронов и ядер с ядрами это значительное увеличение множество заряженных частиц по отношению к множественности нуклонных взаимодействий. Количество взаимодействовавших нуклонных пар при соударении ядер соответствует понятию центральности соударения. Оно определяет объем области перекрытия, сталкивающихся ядер и связано с прицельным параметром столкновений b . Объем перекрытия, в свою очередь, связан с количеством нуклонов участников $n^{уч}$, находящихся в этом объеме и испытавших неупругое рассеяние. Ранее полученные данные показали, что множественность частиц и их суммарная поперечная энергия пропорциональны $n_{\text{част}}$. Это означает, что для выделенных значений множественности или поперечной энергии может быть определена средняя величина $\langle n_{\text{част}} \rangle$. По модели Глаубера, распределение получается усреднением протон-протонных соударений в соответствии с эффективным числом парных взаимодействий [1]. Величина нуклонного неупругого сечения принималась в расчетах равной 64 ± 5 мб. Таким образом, интервалы центральности определяются в соответствии с долей полного сечения рассматриваемых столкновений.

Экспериментальным материалом для данной работы служили стерео снимки, полученные при облучении 2^х-метровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ (г. Дубна, РФ) в пучке ядер углерода с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон. Отбирались 20527 «чистых» СС-соударений из всех 37100 $C(C_3H_8)$ -событий по

определенным критерием [2,3]. В настоящей работе в качестве меры центральности соударений был использован “чистый” заряд Q , т.е. суммарный заряд вторичных заряженных частиц и оно определяется как $Q = n_+ - n_- - (n_{sp} + n_{st})$. Где n_+ , n_- – число однозарядных положительных и отрицательных частиц в событии, n_{sp} – число спектаторных протонов из ядра снаряда, n_{st} – число испарительных протонов из ядра-мишени. Спектаторами снаряда считались те протоны, у которых $P < 3$ ГэВ/с и угол вылета $\theta < 3^\circ$. Протоны, импульс которых меньше 300 МэВ/с считались испарительными протонами из ядра-мишени. Для сравнение экспериментальных результатов, смоделировано 100000 искусственных CC -событий с помощью модели FRITIOF.

Основной характеристикой центральных взаимодействий является малые прицельные параметры удара. Уменьшение параметра удара приводит к увеличению множественности вторичных пионов, увеличению числа протонов-участников в событии, уменьшению заряда, уносимого стриппинговыми фрагментами ядра-снаряда.

Для этих частиц модель предсказывает удовлетворительное согласие с экспериментальными данными.

Литература

1. Galoyan A.S., Kladnitskaya E.N., Rogachevsky O.V., and Uzhinski V.V. Application of RQMD and FRITIOF models for description of nucleus-nucleus interactions at energy of 3,36 GeV/nucleon // Preprint E1-2001-68, JINR, Dubna, 2001.
2. Беляков В.А., Богданович Е. Экспериментальное исследование частиц спектаторов во взаимодействиях ядер углерода в пропановой пузырьковой камере в области энергий нескольких ГэВ. // Сообщение ОИЯИ, Р1-98-289, Дубна, 1998 г. Стр.1-10.
3. Бекмирзаев Р.Н., Беляков В.А., Олимов К., Султанов М.У., Нодиров Г.Ю. // ДАН РУз. 2011. Т. 6. С. 36-38.

Properties Centrality CC-collisions at 4,2 GeV/c per Nucleon

B.A. Sindrov¹, S.S. Alikulov¹, R.N. Bekmirzaev¹, M. Sultanov², K.Z. Mamatkulov¹

¹*A.Kadyry Jizzakh State Pedagogical Institute
708000, Jizzakh, Uzbekistan;*

e-mail: samar@lhe.jinr.ru, bekmirzaev@mail.ru

²*JINR, 141980, Dubna, Russia;*

e-mail: musultanov@mail.ru, kahramon@lhe.jinr.ru

Received December 25, 2015

PACS: 75.60.Ch, 75.70.Ak

This paper presents the results of studies CC collisions at 4.2 GeV/c per nucleon in a bubble chamber. The results are compared with the Glauber model and FRITIOF.

Keywords: nucleus-nucleus interactions, the bubble chamber, the Nuclotron, model.

References

1. Galoyan A.S., Kladnitskaya E.N., Rogachevsky O.V., and Uzhinskii V.V. // Preprint E1-2001-68, JINR, Dubna, 2001.
2. Belyakov V.A., Bogdanovich E. // Report JINR, P1-98-289, Dubna, 1998. Pp.1-10 [in Russian].
3. Bekmirzaev R.N., Belyakov V.A., Olimov K., Sultanov M.U., Nodirov G.Yu. // RAS RUz. 2011. Vol. 6. Pp. 36-38 [in Russian].

Множественные характеристики вторичных протонов и заряженных пионов в dC -взаимодействиях в зависимости от степени центральности при импульсе 4,2 ГэВ/с

Бунёджон Абдувахобович Синдоров¹,
Самариддин Сатторович Аликулов¹,
Рахматилла Нурмурадович Бекмирзаев¹, Мамадали Султанов²,
Кахрамон Зиядуллаевич Маматкулов¹

¹ Джизакский государственный педагогический институт им. А. Кадыри
708000, г. Джизак, Узбекистан

² Самаркандский государственный университет им. А. Навои
140104, г. Самарканд, Узбекистан; e-mail: kahramon@lhe.jinr.ru

В данной работе представлено результаты исследований dC -соударений при 4,2 ГэВ/с на нуклон в пузырьковой камере. Дается детальный анализ продуктов распада при этих взаимодействиях.

Ключевые слова: вторичный протон, адроны, импульс, спектатор.

Цель данной работы является детальный анализ множественности вторичных адронов – протонов и заряженных пионов в dC -взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с. За меру степени центральности dC -взаимодействий была принята “net” заряд Q , которая определялась как $Q = n_+ - n_- - n_p^s - n_t^s$, где n_+ и n_- – число однозарядных положительных и отрицательных частиц в событии, n_p^s и n_t^s – число протонов стриппингов из ядра снаряда и из ядра мишени, соответственно. Для n_p^s принято частицы-спектаторы с $P > 3$ ГэВ/с и углом вылета $\theta < 3^\circ$. Спектаторные протоны из ядра-мишени считались протоны с $P < 0,3$ ГэВ/с. Величина Q равна суммарному заряду частиц в событии, активно участвующих во взаимодействии. Она коррелирует с величиной прицельного параметра b соударения сталкивающихся ядер. Степень центральности взаимодействия возрастает с ростом Q , т.е. с увеличением число участвующих частиц при столкновении.

Получены множественные распределения вторичных протонов и заряженных пионов, образованных в dC -взаимодействиях. Анализ полученных данных показывает, что периферические взаимодействия ($Q \leq 2$) составляют около 60% всех неупругих dC -соударений, доля наиболее центральных соударений ($Q \geq 4$) составляют $\approx 20\%$. Среди событий $Q \leq 2$ имеется примесь от многонуклонных взаимодействий, которые можно исключить, требуя, чтобы в событии имелся только одного или двух идентифицированных протонов, вылетающий в любом направлении (эти протоны может вылетит

из ядра за счет ферми-движения нуклонов). Полный ансамбль dC -взаимодействия характеризуется средним числом протонов участников $\langle n_p(\text{уч}) \rangle = 1,11 \pm 0,01$.

Средняя множественность протонов-участников почти на 25% превышает средней множественности протонов с импульсом $P > 1,4$ ГэВ/с. Это свидетельствует об относительно меньшем образовании Δ -изобаров в dC -взаимодействиях чем pC -столкновений при той же энергии.

Дейтрон можно рассматривать как очень слабо связанное протон-нейтронную систему относительно энергии взаимодействия. Поэтому можно предполагать, что каждый нуклон дейтрона в отдельности взаимодействует с ядром углерода. С уменьшением импульса первичного протона в ходе взаимодействия с ядром углерода эти превышения увеличивается (C_1 существенно возрастает, а C_2 медленно убывает). Таким образом, может быть объяснена различная зависимость $\langle n_{\pi^-} \rangle$ и $\langle n_{\pi^+} \rangle$ от Q .

Литература

1. Бондаренко А.И. и др. // Сообщение ОИЯИ Р1-98-292. Дубна, 1998.
2. Беляков В.А., Богданович Е. // Сообщение ОИЯИ, Р1-98-289, Дубна, 1998г. С. 1-10
3. Бекмирзаев Р.Н., Беляков В.А., Олимов К., Султанов М.У., Нодиров Г.Ю. // ДАН РУз. 2011. Т. 6. С. 36-38.

Multiple Characteristics of the Secondary Protons and Pions in dC -interactions, Depending on the Degree of Centrality at a Momentum of 4,2 GeV/c

B.A. Sindrov¹, S.S. Alikulov¹, R.N. Bekmirzaev¹, M. Sultanov², K.Z. Mamatkulov¹

¹ A.Kadyry Jizzakh State Pedagogical Institute
708000, Jizzakh, Uzbekistan;

e-mail: samar@lhe.jinr.ru, bekmirzaev@mail.ru

² JINR, 141980, Dubna, Russia;

e-mail: musultanov@mail.ru, kahramon@lhe.jinr.ru

Received December 25, 2015

PACS: 75.60.Ch, 75.70.Ak

This paper presents the results of research dC collisions at 4.2 GeV/c per nucleon in a bubble chamber. Given detailed analysis of the decay products in these interactions.

Keywords: secondary proton, hadrons, momentum, spectator.

References [in Russian]

1. Bondarenko A.I. and et. al. // Preprint JINR, P1-98-292, Dubna, 1998.
2. Belyakov V.A., Bogdanovich E. // Report JINR, P1-98-289, Dubna, 1998. Pp.1-10
3. Bekmirzaev R.N., Belyakov V.A., Olimov K., Sultanov M.U., Nodirov G.Yu. // RAS RUz. 2011. Vol. 6. Pp. 36-38.

Основное состояние и спектр возбуждений четырёхножной спиновой трубки: расчёт методом матричных произведений

Анна Сергеевна Тимофеева, Ирина Геннадьевна Бострем

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: anna_timofeeva@bk.ru, Irina.Bostrem@urfu.ru

Рассматривается модель четырёхножной спиновой трубки, которая в частности может быть применена при анализе процесса намагничивания в двумерном ферромагнетике $BIPNNBNO$. Методом матричных произведений находится основное состояние спиновой трубки и рассчитывается для нее спектр возбуждений.

Ключевые слова: спиновая трубка, метод матричных произведений, основное состояние.

Магнитный блок спиновой системы представляет органический трирадикал $BIPNNBNO$ [1]. Элементарная магнитная ячейка состоит из двух спинов ($S=1$ и $s=1/2$) с антиферромагнитным взаимодействием между ними. Модель четырёхножной спиновой трубки – повторяющиеся блоки ($\dots n, n+1 \dots$), связанные между собой. Внутри каждого имеем два вида антиферромагнитного межцепочечного взаимодействия. Между ближайшими и следующими за ближайшими соседями, второе вводит спин-фрустрацию. Полный гамильтониан такой системы содержит блочную и межблочную части. Используем модель Гейзенберга. Прототип (кристалл $BIPNNBNO$) – диэлектрик.

В результате расчёта методом матричных произведений [2] было установлено, что при увеличении фрустрирующего взаимодействия происходит смена основного состояния. Так же получено выражение для энергии одномагнитного возбужденного состояния. Качественно результаты метода матричных произведений согласуются с данными по прямой диагонализации [3]. Дальнейший интерес исследования представляет точка, в которой происходит смена основного состояния и роль фрустрирующего взаимодействия, определяющего поведение щели.

Литература

1. Ovchinnikov, A.S., Sinitsyn, V.E., Bostrem I.G. et al. // J. Phys.: Condensed Matter 2012. В. 24.
2. Kolezhuk, A.K., Mikeska, H.J., Yamamoto Shoji // Phys. Rev. 1997 В 55, R3336.
3. Синицын В.Е. Расчет выполнен методом прямой диагонализации с использованием программы ALPS: <http://alps.comp-phys.org>. (Неопубликованные данные).

The Ground State and Excitation Spectrum of the Four-leg Spin Tube: a Matrix Product Calculation

A.S. Timofeeva, I.G. Bostrem

*Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin
620002, 19, Mira str, Yekaterinburg; e-mail: anna_timofeeva@bk.ru,
Irina.Bostrem@urfu.ru*

Received December 22, 2015

PACS: 75.10.Jm 75.25.+z 75.30.Et

This paper presents a study of the four-leg spin tube. This model can be applied to the analysis of magnetization process in two-dimensional organic ferromagnet *BIPNNBNO*. The ground state energy and the energy of one-magnon states in this system are obtained using Matrix Product method.

Keywords: spin tube, matrix product, ground state.

References

1. *Ovchinnikov A.S., Sinitsyn V.E., Bostrem I.G. et al.* // J. Phys.: Condensed Matter 2012. B. 24.
2. *Kolezhuk A.K., Mikeska H.J., Yamamoto Shoji* // Phys. Rev. 1997 B 55, R3336.
3. *Sinitsyn V.E.* Calculation with exact diagonalization method using ALPS suite: <http://alps.comp-phys.org> . (Unpublished data).

Тушение колебательно возбужденного синглетного кислорода $O_2(a^1\Delta, \nu)$ на CO_2

Алексей Петрович Торбин, Валерий Николаевич Азязов

Самарский государственный аэрокосмический университет (СГАУ)
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34

Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (СФ ФИАН)
443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221; e-mail: torbinalex@gmail.com

В работе методом времязрешенной эмиссионной спектроскопии была измерена константа скорости V-T релаксации колебательно возбужденного молекулярного синглетного кислорода $O_2(a^1\Delta, \nu)$ на диоксиде углерода CO_2 , значение которой составило $K_{CO_2} = (1,03 \pm 0,07) \times 10^{-14}$ см³/с.

Ключевые слова: колебательно возбужденный синглетный кислород, диоксид углерода, озон, константа скорости, импульсный лазерный фотолиз, эмиссионная спектроскопия.

В экспериментах молекулы $O_2(a^1\Delta, \nu)$ нарабатывались с помощью импульсного лазерного фотолиза озона в смеси $O_3-N_2-CO_2$ на длине волны 266 нм. Известно, что при УФ фотолизе озона образуется молекула $O_2(a^1\Delta, \nu)$ с начальным распределением 0,57:0,24:0,12:0,07 по колебательным уровням $\nu=0, 1, 2$ и 3 соответственно [1].

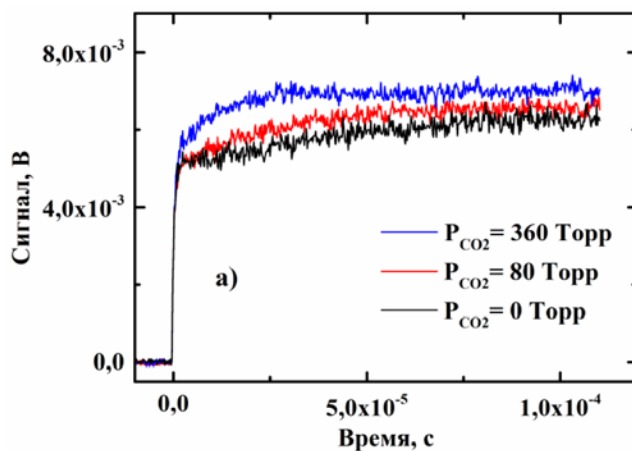


Рисунок 1. Типичные временные зависимости относительных концентраций $O_2(a^1\Delta, \nu=0)$ после лазерного импульса для трех значений давлений CO_2 .

На (рис. 1) показаны типичные временные профили относительных концентраций $O_2(a^1\Delta, \nu=0)$ после лазерного импульса для трех значений давлений CO_2 .

С увеличением парциального давления концентрация $O_2(a^1\Delta, \nu=0)$ увеличивается за счет V-T процесса $O_2(a^1\Delta, \nu=1) + CO_2 \rightarrow O_2(a^1\Delta, \nu=0) + CO_2$.

На (рис. 2) представлены экспериментально полученные значения скоростей деактивации $O_2(a^1\Delta, \nu=1)$ от концентраций CO_2 . Из наклона линейной аппроксимирующей функции было определено значение константы скорости деактивации $O_2(a^1\Delta, \nu=1)$ на диоксиде углерода: $K_{CO_2} = (1,03 \pm 0,07) \times 10^{-14} \text{ см}^3/\text{с}$.

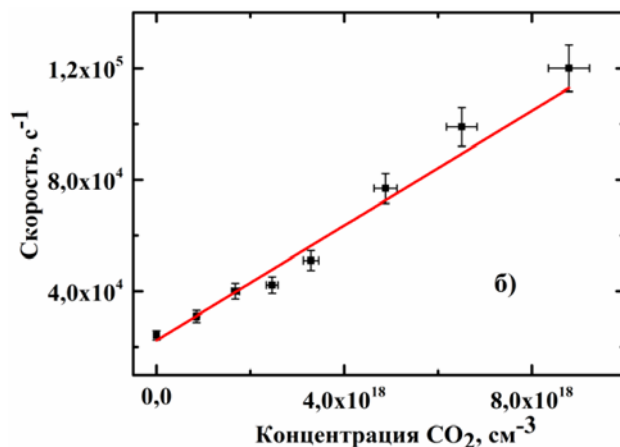


Рисунок 2. Измеренные значения (символы) скорости V-T релаксации $O_2(a^1\Delta, \nu=1)$ в зависимости от концентрации CO_2 . Линия – аппроксимация экспериментальных значений линейной функцией.

Литература

1. Sparks R.K.et. al. // Chem. Phys. 1980. Vol. 72. № 2. pp. 1401-1402.

Quenching of Vibrationally Excited Singlet Oxygen $O_2(a^1\Delta, \nu)$ by CO_2

A.P. Torbin, V.N. Azyazov

Samara State Aerospace University: Moskovskoye Shosse 34, 443086, Samara, Russia;
P.N. Lebedev Physical Institute of RAS, Samara Branch: Novo-Sadovaya str. 221,
443011, Russia; e-mail: torbinalex@gmail.com

Received December 25, 2015

PACS: 42.55.Lt

This paper presents the results of experimental rate constant measurements of vibrationally excited singlet oxygen $O_2(a^1\Delta, \nu)$ V-T relaxation by CO_2 process, the value which amounted $K_{CO_2} = (1,03 \pm 0,07) \times 10^{-14}$ cm³/s. Time-resolved emission spectroscopy was used in the experiments.

Keywords: vibrationally excited singlet oxygen, carbon dioxide, ozone, rate constant, pulsed laser photolysis, emission spectroscopy.

References

1. Sparks R.K.et. al. // Chem. Phys. 1980. Vol. 72. № 2. pp. 1401-1402.

УДК 537.322.11; 537.633.2; 537.621.2

Транспортные свойства поликристаллических плёнок висмута

Александр Сергеевич Федотов

Белорусский государственный университет
220030 Беларусь, Минск, пр. Независимости, 2; e-mail: fedotov.alexandro@gmail.com

Исследовано влияние размеров зерен на механизмы рассеяния носителей заряда, удельное электросопротивление, относительное магнетосопротивление, коэффициенты Холла и Зеебека в поликристаллических плёнках висмута. Предложен метод расчета коэффициента Зеебека из тензора транспортных коэффициентов монокристаллов и карт текстуры пленок висмута.

Ключевые слова: висмут, поликристаллические пленки, магнетосопротивление, эффект Холла, эффект Зеебека, подвижность носителей заряда, концентрация носителей заряда, транспортные свойства плёнок.

Целью работы являлось детальное изучение влияния размеров зерен на механизмы рассеяния носителей заряда, удельное электросопротивление ρ , относительное магнито-сопротивление MC , коэффициенты Холла R_H и Зеебека S поликристаллических плёнок висмута (Bi), полученных методами центробежного затвердевания и электрохимического синтеза с последующим отжигом. Микро-структура плёнок исследована методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рентгеновского и электронного дифракционных анализов. Температурные и магнито-полевые зависимости $\rho(T,B)$, $MC(T,B)$, $R_H(T,B)$ и $S(T,B)$ измерялись в бескриогенной системе CHNF (Cryogenics Ltd., Англия) на основе рефрижератора замкнутого цикла в диапазоне температур $4 < T < 310$ К и в магнитных полях с индукцией B до 8 Тл. Используемая аппаратура позволяла измерять и стабилизировать температуру с точностью до 1 мК, определять электросопротивление и коэффициент Холла с ошибкой не более 0,1%, а коэффициент Зеебека – с ошибкой не более 10% ниже 20 К и не более 0,5% выше 100 К.

На основе решения трехмерной начально-краевой задачи для системы дифференциальных уравнений, описывающих взаимосвязанный транспорт заряда и тепла [1], предложен метод расчета коэффициента Зеебека исходя из известного тензора транспортных коэффициентов монокристаллов и экспериментально полученных карт текстуры пленок висмута. Использование экспериментальных кривых $\rho(T,B)$, $MC(T,B)$, $R_H(T,B)$ и $\alpha(T,B)$ позволило рассчитать с помощью предложенного в [2] подхода температурные зависимости подвижностей и концентраций электронов и дырок (рис. 1в), что дало возможность объяснить изменение механизмов рассеяния носителей заряда

в пленках с увеличением размеров зерен.

Проведенное исследование позволило получать поликристаллические пленки висмута с контролируемыми транспортными свойствами для их использования в качестве термометра и нагревателя при экспериментальной реализации измерения теплопроводности пленок 3- ω методом.

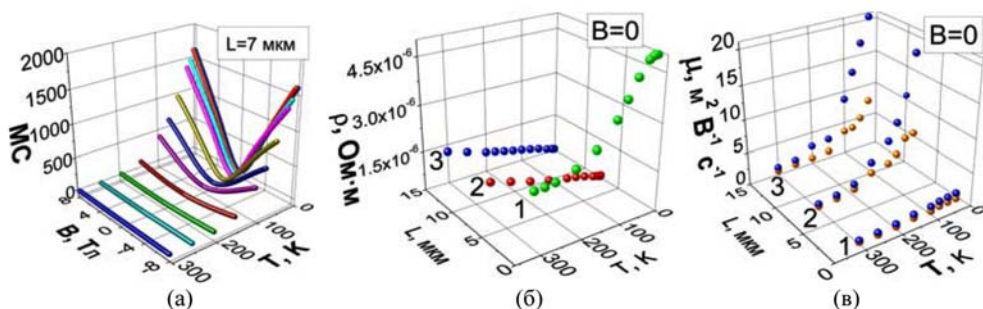


Рисунок 1. Зависимости $MC(T,B)$ (а), $\rho(T,L)$ (б) и подвижности $\mu(T,L)$ (в) для электронов (синие точки) и дырок (оранжевые точки) в пленках висмута с размерами зерен $L \approx 7$ мкм (1), $L \approx 20$ мкм (2) и $L \approx 60$ мкм (3).

Литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. — М.: Физматлит, 2003.
2. Nakamura D., Murata M., Yamamoto H. // J. Appl. Phys. 2011. Vol. 110. P. 053702.

Transport Properties of Polycrystalline Bismuth Films

A.S. Fedotov

Belarusian State University
220030, Minsk, Nezavisimosti ave., 2;
e-mail: fedotov.alexandro@gmail.com

Received January 25, 2016

PACS: 73.50.-h, 73.50.Lw, 72.20.-I, 72.15.-v,
72.20.Pa, 72.15.Eb

We study the influence of grain size on the mechanisms of charge carrier scattering, electrical resistivity, the relative magnetoresistance, Hall and Seebeck coefficients in polycrystalline bismuth films. The computation method is proposed for the Seebeck coefficient from tensor transport coefficients of single crystals and texture maps of the bismuth films.

Keywords: bismuth, polycrystalline films, magnetoresistance, Hall effect, Seebeck effect, carrier mobility, carrier concentration, transport properties.

References

1. Landau L.D., Lifshitz E.M. Electrodynamics of Continuous Media. V.8 (1st ed.). Pergamon Press. 1960. ISBN 978-0-08-009105-1 [in Russian].
2. Nakamura D., Murata M., Yamamoto H. // J. Appl. Phys. 2011. Vol. 110. P. 053702.

Анализ компонент паров карбида циркония при температурах выше 3500 К

Павел Сергеевич Вервикишко, Александр Михайлович Фролов,
Михаил Александрович Шейндлин

Объединенный Институт Высоких температур РАН
125412, Россия, Москва, Ижорская 13 стр. 2; e-mail: pvervikishko@gmail.com,
matotz@gmail.com, sheindlin@yandex.ru

В данной работе представлены результаты исследования испарения карбида циркония до температуры 4150 К. Анализ проводился методом времяпролетной масс-спектрометрии, сопряженной с лазерным нагревом. В масс-спектрах паров обнаружены атомарный и молекулярный углерод, изотопы циркония, ZrC_2 , а также соединение Zr_2C , не детектировавшееся. Рассчитаны энтальпии испарения отдельных компонент. Полученные зависимости соотношений компонент пара от температуры, позволяют сделать вывод о том, что состав поверхности достаточно сильно меняется в фазовых переходах.

Ключевые слова: лазерный нагрев, времяпролетная масс-спектрометрия.

Исследование паров тугоплавких веществ стандартными методами, такими как например испарение в ячейке Кнудсена или испарение со свободной поверхности позволяют получить результаты только до 3000 К [1]. Быстрый лазерный нагрев позволяет преодолеть это ограничение и исследовать испарение в режиме близком к свободномолекулярному при температурах свыше 4000 К [2].

В данной работе метод лазерного испарения вместе с времяпролетной масс-спектрометрией применялся для исследования паров карбида циркония. В парах, испускаемых с поверхности при температурах выше точки ликвидуса ($T > 3570$ К) наряду с частицами углерода (C_1 - C_3) и изотопами циркония, обнаружены соединения ZrC , ZrC_2 и Zr_2C , ранее не детектировавшееся. Для наиболее интенсивно испаряющихся компонент были рассчитаны энтальпии испарения: $\Delta H_{исп}(Zr) = 720$ кДж/моль, $\Delta H_{исп}(C) = 798$ кДж/моль, $\Delta H_{исп}(ZrC_2) = 831$ кДж/моль. С помощью метода, приведенного в [3], рассчитаны относительные давления компонент пара и их зависимости от температуры и состояния поверхности. По зависимости отношения давлений паров, содержащих углерод и цирконий, можно заключить, что в фазовых переходах меняется соотношение углерода и циркония на поверхности. В жидкой фазе, образующейся на поверхности при температурах выше 3150 К, существенно больше доля углерода, чем в исходном составе. Однако, при повышении температуры, доля углерода падает – состав поверхности стремиться к конгруэнтному.

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

Литература

1. *Zavitsanos. P. D., Carlson G.A.* // J. Chem. Phys. 1973. Vol. 59. № 6. pp. 2966-2973.
2. *Pflieder. R., Sheindlin M., Colle J.-Y.* // Int. J. Thermophys. 2005. Vol. 26. № 4. pp. 1076-1093.
3. *Drowart J., Chatillon C., Hastie J., Bonnell D.* // Pure Appl. Chem. 2005. Vol. 77. № 4. pp. 683–737.

Zirconium Carbide Vapor Composition Analysis at Temperatures above 3500 K

P.S. Vervikishko, A.M. Froloy, M.A. Sheindlin

Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences

*E-mail: pvervikishko@gmail.com, matotz@gmail.com,
sheindlin@yandex.ru*

Received November 30, 2015

PACS: 64.70.F

The zirconium carbide vapor composition study has been performed up to temperature 4150 K. Combination of mass-spectrometry and laser heating was used to perform the analysis. Following particles were found in mass-spectrums: atomic and molecular carbon, zirconium isotopes, ZrC_2 and Zr_2C – compound that has not been detected previously. Evaporation enthalpies of components were calculated. Temperature dependence of vapor compounds relation allows deducing that surface composition changes greatly in phase transitions.

Keywords: laser heating, time-of-flight mass-spectrometry.

References

1. *Zavitsanos. P. D., Carlson G.A.* // J. Chem. Phys. 1973. Vol. 59. № 6. pp. 2966-2973.
2. *Pflieder. R., Sheindlin M., Colle J.-Y.* // Int. J. Thermophys. 2005. Vol. 26. № 4. pp. 1076-1093.
3. *Drowart J., Chatillon C., Hastie J., Bonnell D.* // Pure Appl. Chem. 2005. Vol. 77. № 4. pp. 683–737.

Кристаллизация углерода из пара при давлениях до 0,6 ГПа

Татьяна Владимировна Бгашева, Павел Сергеевич Вервикишко,
Александр Михайлович Фролов, Михаил Александрович Шейндлин

Объединенный Институт Высоких температур РАН
125412, Россия, Москва, Ижорская, 13, стр. 2; e-mail: 1.8.1@list.ru,
pvervikishko@gmail.com, matotz@gmail.com, sheindlin@yandex.ru

В работе представлены результаты исследования процесса кристаллизации углерода из пара в широком диапазоне давлений начиная от 100 до 600 МПа. Впервые обнаружены частицы, кристаллизованные по механизму пар-жидкость-кристалл и исследована их морфология методом РЭМ. Обнаружено, что частицы, конденсированные из пара при различных давлениях буферного газа, имеют одинаковый размер. *Ключевые слова:* лазерный нагрев, плавление углерода.

Ранее [1], при проведении экспериментов по плавлению графита в диапазоне давлений от 100 до 400 МПа с помощью лазерного нагрева, обнаружена возможность кристаллизации углерода из пара по механизму пар-жидкость-кристалл (ПЖК). В настоящей работе для дальнейшего изучения этого явления эксперименты выполнены при давлениях до 600 МПа. На поверхности образца после лазерного нагрева, в области рекристаллизованного жидкого углерода, наблюдались как частицы в виде аморфного углерода размером в единицы нанометров [2] – на снимках РЭМ видны лишь агломерации таких частиц (рисунок 1) – так и квазисферические макрочастицы двух типов: со сплошной и разрывной поверхностью (рисунок 2).

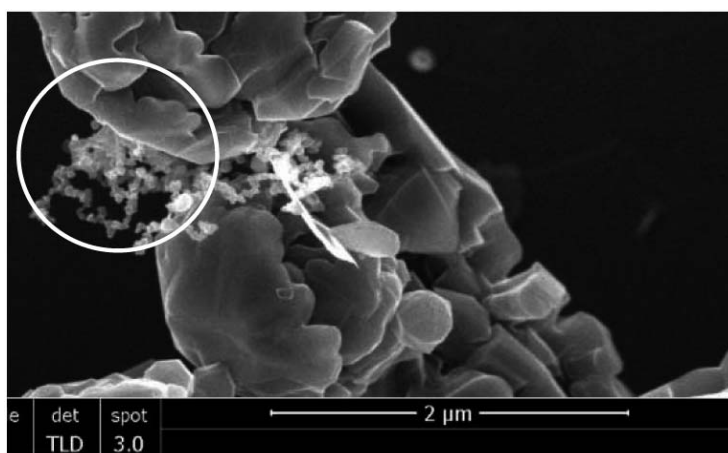


Рисунок 1. Конденсированные частицы углерода.

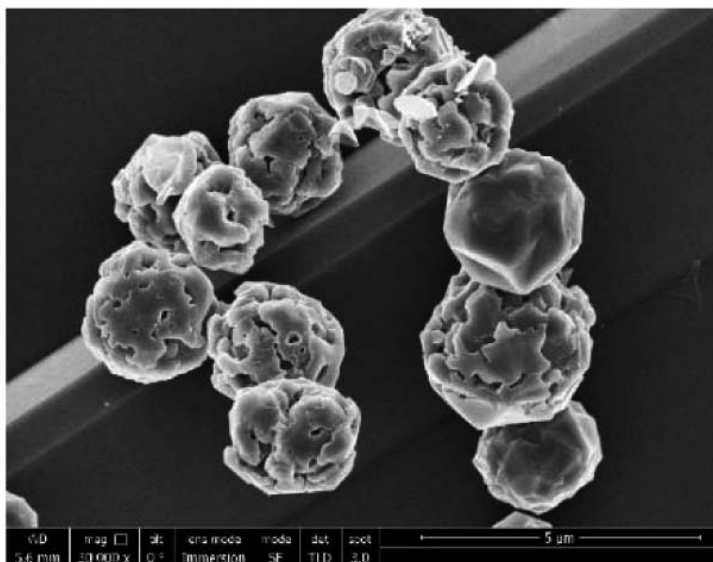


Рисунок 2. Сферические частицы углерода.

Подобные частицы наблюдались во всем диапазоне давлений, причем диаметр квазисфер практически не зависел от условий эксперимента. Сферическая форма частиц и морфология их поверхности свидетельствует об их кристаллизации из капли жидкого углерода образовавшейся, в свою очередь, из пересыщенного пара вблизи испаряющейся поверхности.

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

Литература

1. *Вервикишко П.С., Бгашева Т.В., Шейндлин М.А.* Особенности кристаллизации жидкого углерода в диапазоне давлений от 100 до 400 МПа // *Физическое образование в вузах* 2015. Т.21. №:1С. С. 17-18.
2. *Вервикишко П.С., Вервикишко Д.Е., Школьников Е.И.* Синтез нанодисперсных углеродных порошков методом лазерного испарения графита и исследование их пористой структуры // 2015. Eurasian Union of Scientists. Т2. С. 157-160.

Crystallization of the Carbon Vapor at Pressures up to 0,6 GPa

T.V. Bgasheva, P.S. Vervikishko, A.M. Frolov, M.A. Sheindlin

*Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences
Izhorskaya st. 13 Bd. 2, Moscow, Russia 125412;
e-mail: 1.8.1@list.ru, pvervikishko@gmail.com,
matotz@gmail.com, sheindlin@yandex.ru*

Received November 30, 2015

PACS: 64.70.dg

A Laser heating technique has been applied for graphite melting and vaporization under isobaric condition by pressure range is 100-600 MPa. The vapor-liquid-solid mechanism of crystallization of carbon vapor was discovered. It was attempted to classify the crystals by using REM. It was found that the solid spheres of carbon condensed in different pressures has equal size.

Keywords: laser heating, melting of carbon.

References

1. *Vervikishko P.S., Bgasheva T.V., Sheindlin M.A.* "Features of the crystallization of liquid carbon at pressures of 100 to 400 MPa" *Physics in Higher Education* V 21, №1С, 2015, P. 17-18 [in Russian].
2. *Vervikishko P.S., Vervikishko D.E., E.I. Shkolnikov* "Synthesis of carbon nano-dispersed powders by laser vaporization of graphite and the study of their porous structure" // *Eurasian Union of Scientists* 2015 №2. Pp.157-160.

Система считывания и обработки данных детектора для регистрации широких атмосферных ливней НЕВОД-ШАЛ

Иван Андреевич Шульженко

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Научно-образовательный центр НЕВОД, 115409, г. Москва, Каширское ш., д. 31;
e-mail: IAShulzhenko@mephi.ru

В докладе обсуждаются особенности организации и характеристики системы считывания и обработки данных ливневого детектора кластерного типа НЕВОД-ШАЛ, предназначенного для регистрации электронно-фотонной компоненты и реконструкции параметров широких атмосферных ливней в диапазоне энергий первичных космических лучей 10^{15} – 10^{17} эВ. Система считывания и обработки данных НЕВОД-ШАЛ обеспечивает управление всеми кластерами детектора, их синхронизацию и согласованную работу в процессе проведения эксперимента совместно с детекторами НЕВОД и ДЕКОР Уникальной научной установки «Экспериментальный комплекс НЕВОД».

Ключевые слова: космические лучи, широкий атмосферный ливень, сцинтилляционный детектор, система сбора и обработки данных.

В 2015 году НИЯУ МИФИ в рамках Программы развития Уникальной научной установки «Экспериментальный комплекс НЕВОД» [1] создана центральная часть детектора НЕВОД-ШАЛ [2], предназначенного для регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ) в диапазоне энергий 10^{15} – 10^{17} эВ, соответствующем области «излома» энергетического спектра ПКЛ, природа которого до сих пор не ясна. Детектор состоит из кластеров сцинтилляционных счетчиков частиц электронно-фотонной компоненты ШАЛ, которые расположены на территории НИЯУ МИФИ вокруг экспериментального комплекса НЕВОД.

Каждый кластер НЕВОД-ШАЛ является независимым элементом установки и включает 4 детектирующие станции, состоящих из 16 счетчиков и объединенных локальным пунктом (ЛП) сбора и первичной обработки данных. Функциями ЛП кластера являются считывание аналоговых сигналов со счетчиков детектирующих станций и их оцифровка, отбор регистрируемых событий по заданным внутри-кластерным триггерным условиям и передача амплитудной информации в центральный пункт (ЦП) управления, сбора и обработки данных детектора НЕВОД-ШАЛ. Функциями ЦП детектора НЕВОД-ШАЛ является обеспечение синхронизации и управления всеми ЛП, а также прием и хранение экспериментальных данных и данных мониторинга рабочих параметров кластеров.

В докладе обсуждаются особенности организации и характеристики системы считывания и обработки данных ливневого детектора НЕВОД-ШАЛ, обеспечивающей согласованную работу всех кластеров в процессе проведения эксперимента совместно с детекторами НЕВОД [3] и ДЕКОР [4].

Работа выполнена на уникальной научной установке НЕВОД при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (проект RFMEFI59114X0002).

Литература

1. Сайт УНУ НЕВОД: <http://ununevod.mephi.ru/ru/>
2. *Shulzhenko I.A., Amelchakov M.B., Barbashina N.S., et al.* // Journal of Physics: Conference Series, vol. 409 (1). 2013. Article number 012098.
3. *Aynutdinov V.M., Kindin V.V., Kompaniets K.G. et al.* // Astrophys. Space Sci., vol. 258(1-2). 1998. pp. 105-116.
4. *Barbashina N.S., Ezubchenko A. A., Kokoulin R. P. et al.* // Instrum. Exp. Tech., vol. 43(6). 2000. pp. 743-746.

Data Acquisition System of the NEVOD-EAS Detector for the Extensive Air Shower Registration

I.A. Shulzhenko

*National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute),
Scientific and Educational Center NEVOD
115409, Moscow, Kashirskoe Shosse, 31;
e-mail: IAShulzhenko@mephi.ru*

Received January 14, 2016

PACS: 96.50.sd

The features of organization and characteristic of the data acquisition system of the cluster type air shower detector NEVOD-EAS that is designed for the extensive air shower electron-photon component registration and reconstruction of the EAS parameters in the primary cosmic ray energy range of 10^{15} – 10^{17} eV are discussed. The NEVOD-EAS array DAQ system provides control of all the clusters, their synchronization and coordinated operation during the experimental series carried out in conjunction with the NEVOD and DECOR detectors of the Unique Scientific Facility «Experimental complex NEVOD».

Keywords: cosmic rays, extensive air shower, scintillation detector, data acquisition system.

References

1. Web-site of the Unique Scientific Facility NEVOD: <http://ununevod.mephi.ru/ru/>
2. Shulzhenko I.A., Amelchakov M.B., Barbashina N.S., *et al.* // Journal of Physics: Conference Series, vol. 409 (1). 2013. Article number 012098.
3. Aynutdinov V.M., Kindin V.V., Kompaniets K.G. *et al.* // Astrophys. Space Sci., vol. 258(1-2). 1998. pp. 105-116.
4. Barbashina N.S., Ezubchenko A. A., Kokoulin R. P. *et al.* // Instrum. Exp. Tech., vol. 43(6). 2000. pp. 743-746.

Регистрирующая электроника установки для регистрации атмосферных нейтронов проекта УРАН

Константин Олегович Юрин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Научно-образовательный центр НЕВОД
115409, г. Москва, Каширское ш., 31; e-mail: KOYurin@mephi.ru

В докладе приводится описание регистрирующей электроники установки для регистрации атмосферных нейтронов проекта УРАН, процесса её тестирования и настройки. Регистрирующая электроника включает 12-разрядные АЦП в каждом канале, с частотой дискретизации 200 МГц и возможностью уменьшения тактовой частоты по заданным условиям.

Ключевые слова: космические лучи, нейтронная компонента, широкий атмосферный ливень, блок амплитудного анализа.

Установка для регистрации атмосферных нейтронов УРАН предназначена для регистрации нейтронной компоненты широких атмосферных ливней (ШАЛ) в области энергий космических лучей 1013–1016 эВ [1]. УРАН позволит совместно с уникальным комплексом НЕВОД осуществить мультикомпонентное исследование характеристик ШАЛ. Проект УРАН создается в научно-образовательном центре НЕВОД (НИЯУ МИФИ) [2], в сотрудничестве с Институтом ядерных исследований РАН.

УРАН включает 76 счетчиков тепловых нейтронов, объединенных в кластерные структуры по 12 счетчиков, расположенных на крышах зданий вокруг комплекса НЕВОД. Общая площадь детектора ~103 м².

Для регистрации электромагнитной и нейтронной компонент ШАЛ используются 12-канальные блоки амплитудного анализа с интегрированным контроллером БААК12. Применяется три вида плат БААК12 (БААК12-200, БААК12Н и БААК12-100). Плата БААК12-200 с частотой дискретизации 200 МГц подключается к 12-му диоду ФЭУ и предназначена как для регистрации электронной компоненты ШАЛ, так и запаздывающих нейтронов благодаря переключению на тактовую частоту 1 МГц по заданным условиям. Плата БААК12-200Н с частотой дискретизации 200 МГц подключается к 7-му диоду ФЭУ и предназначена для увеличения динамического диапазона регистрации электронной компоненты ШАЛ. Плата БААК12-100 имеет частоту дискретизации 100 МГц и служит для вариационных задач. Каждая плата имеет 12 каналов, что позволяет осуществить подключение детекторов одного кластера. Работа плат БААК12 на одной частоте осуществляется модулем синхронизации, который раздает тактовые сигналы и временные метки по оптоволоконной линии связи для единого времени внутреннего таймера.

В докладе приводится описание регистрирующей системы, этапов тестирования и результаты, полученные при тестовых запусках, свидетельствующих о правильности работы установки.

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

Литература

1. *Gromushkin D.M., et al.* Journal of Physics: Conference Series, vol. 409 (2013), 2013. Article number 012044.
2. Сайт НОЦ НЕВОД // <http://www.nevod.mephi.ru/>

Registering Electronics of the Setup for the Atmospheric Neutrons Detections of the URAN Project

K.O. Yurin

*National Research Nuclear University "MEPhI" (Moscow Engineering Physics Institute),
Research and Education Center NEVOD, 115409, Moscow Kashirskoe sh. 31;
e-mail: KOYurin@mephi.ru*

Received January 28, 2015

PACS: 95.55.Vj

The report contains the description of registering electronics of the setup for the atmospheric neutrons detection of the URAN project, the process of its testing and configuring. The registration electronics includes 12-bit ADC per channel, with a sampling frequency of 200 MHz and the possibility to reduce the clock frequency according to the preset conditions.

Keywords: cosmic rays, neutron component, extensive air shower, amplitude analysis unit.

References

1. *Gromushkin D.M., et al.* Journal of Physics: Conference Series, vol. 409 (2013), 2013. Article number 012044.
2. Site Research and Education Center NEVOD // <http://www.nevod.mephi.ru/>

ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА

Устные доклады

УДК 535.14

Разработка промышленного устройства для квантового распределения ключа

Александр Валерьевич Дуплинский^{1,2}, Алан Александрович Канапин^{1,3},
Антон Вадимович Лосев¹, Александр Сергеевич Соколов¹,
Евгений Олегович Киктенко⁴, Алексей Константинович Федоров⁴

¹ Российский квантовый центр (ООО «МЦКТ») 143025, Московская область, Одинцовский район, дер. Сколково, ул. Новая, д. 100; e-mail: a.duplinsky@rqc.ru, a.kanarin@rqc.ru, a.losev@rqc.ru, a.sokolov@rqc.ru

² Московский физико-технический институт (государственный университет) 141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9

³ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1

⁴ ООО «ДЕФАН», 143025, Московская область, Одинцовский район, дер. Сколково, ул. Новая, д. 100; e-mail: evgeniy.kiktenko@gmail.com, akf@rqc.ru

Настоящая работа посвящена разработке промышленного устройства для квантового распределения ключа. В отличие от существующих методов, квантовое распределение ключа обеспечивает конфиденциальность передаваемой информации, основанную на фундаментальных законах квантовой физики. В работе демонстрируется разрабатываемая установка для квантовой криптографии и набор алгоритмических решений для обработки квантовых ключей.

Ключевые слова: квантовое распределение ключа, квантовая криптография, квантовая оптика.

Квантовое распределение ключа позволяет двум легитимным пользователям обмениваться случайной двоичной последовательностью, называемой квантовым ключом. Невозможность незаметного прослушивания гарантируется законами квантовой механики [1, 2].

В рамках проекта разрабатывается установка, которая позволит генерировать квантовый ключ со скоростью более 10 кбит/с на внутригородских линиях 50-100 км. Эта скорость является достаточной для передачи информации от 10 до 100 Гбит/с с использованием «гибридного» шифрования: квантовая криптография является источником ключа для классического алгоритма с открытым ключом. С целью создания идентичных квантовых ключей легитимным пользователям необходимо провести ряд процедур обработки информации, например, авторизацию (условием функцио-

нирования протокола квантового распределения ключа является наличие классического неискаженного канала), исправление ошибок, определение наличия перехвата информации, также обеспечение сохранности передаваемых данных. В настоящей работе предлагаются алгоритмические решения для реализации данных процедур.

Работа выполняется при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (2015-14-582-0061-1491, соглашения 14.582.21.0009 и 14.579.21.0104).

Литература

1. Bennett C.H., Brassard G. // IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing, Bangalore, India (IEEE, New York, 1984), pp. 175-179.
2. Wootters W.K., Zurek W.H. // Nature, V. 299 (1982), pp. 802-803.

Development of an Industrial Quantum Key Distributing Device

A.V. Duplinskiy^{1,2}, A.A. Kanapin^{1,3}, A.V. Losev¹,
A.S. Sokolov¹, E.O. Kiktenko⁴, A.K. Fedorov⁴

¹ Russian Quantum Center (RQC), Business Center «Ural»,
100, Novaya st., Skolkovo, Moscow reg., 143025, Russia;
e-mail: a.duplinsky@rqc.ru, a.kanapin@rqc.ru, a.losev@rqc.ru, a.sokolov@rqc.ru

² Moscow Institute of Physics and Technology,
9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russian Federation

³ Lomonosov Moscow State University,
GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation

⁴ DEPHAN LLC, Business Center «Ural»,
100, Novaya st., Skolkovo, Moscow Reg., 143025, Russia;
e-mail: evgeniy.kiktenko@gmail.com, akf@rqc.ru

Received November 30, 2015

PACS: 03.67.Dd

The present paper is devoted to development of an industrial device for quantum key distribution. In contrast to currently available solutions, the quantum key distribution ensures security of transmitted messages based on the quantum physics laws. The work demonstrates quantum cryptography setup under development and algorithmic solutions for quantum keys processing.

Keywords: quantum key distribution, quantum cryptography, quantum optics.

References

1. *Bennett C.H., Brassard G.* // IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing, Bangalore, India (IEEE, New York, 1984), pp. 175-179.
2. *Wootters W.K., Zurek W.H.* // Nature, V. 299 (1982), pp. 802-803.

Исследование радиального распределения потенциала плазмы в газовом разряде постоянного тока в аксиальном магнитном поле

Геннадий Дмитриевич Лизякин, Равиль Анатольевич Усманов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН)
125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр. 2; e-mail: glizyakin@gmail.com,
ravus46@yandex.ru

В работе исследуется радиальное распределение электрического потенциала плазмы отражательного разряда постоянного тока. Представлено влияние различных параметров на установившийся профиль потенциала.

Ключевые слова: газовый разряд, плазма, радиальный профиль потенциала, изолированный зонд.

Актуальной для ядерной энергетики является проблема выделения продуктов деления актиноидов из отработавшего ядерного топлива. Одним из перспективных методов по переработке отработавшего ядерного топлива является метод плазменной сепарации [1]. В работе [2] представлены различные конфигурации электрических и магнитных полей приводящие к разделению потоков заряженных частиц по массам.

В настоящей работе рассматривается возможность разделения заряженных частиц по массам в отражательном разряде [3]. Исследуются профили потенциала плазмы в разряде диаметром 800 мм и длиной 1800 мм, в магнитных полях 0,03-0,2 Тл, и давлении 2 мТорр. Измерения осуществлялись методом изолированного зонда. Сопоставление полученных экспериментальных данных и рассчитанных в работе [2] показывает, что в отражательном разряде, возможна реализация профилей потенциала плазмы близких к тем, что приводят к разделению заряженных частиц. Кроме того, методом двойного зонда померено радиальное распределение концентрации плазмы при магнитном поле 0,04 Тл в центральной плоскости разряда в диапазоне $r = 5-25$ см среднее значение концентрации составило $2 \cdot 10^9$ см⁻³. Эти данные позволяют оценивать производительность метода при площади входного потока 100 см² и концентрации на уровне 5 мг/час.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-29-00231).

Литература

1. Ворона Н.А., Гавриков А.В., Самохин А.А., Смирнов В.П., Хомяков Ю.С. // Ядерная физика и

инжиниринг – 2014. – Том 5, № 11–12, С. 944–951.

2. Smirnov V.P., Samokhin A.A., Vorona N.A., and Gavrikov A.V. // Plasma Phys. Rep. 39, 456 (2013).
3. Liziakin G. and Usmanov R. // Physics Procedia 71, 138 (2015).

Study of the Radial Plasma Potential Distribution in a DC Gas Discharge in an Axial Magnetic Field

G. Liziakin, R. Usmanov

*Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences,
125412, Izhorskaya 13 Bldg 2, Moscow, Russia;
e-mail: glizyakin@gmail.com, ravus46@yandex.ru*

Received January 14, 2016

PACS: 52.25.Xz

We investigate the radial distribution of the electric potential of the plasma reflex discharge. It is represented the effect of various parameters on a steady potential profile.

Keywords: Gas discharge, plasma, radial profile of the potential, isolated probe.

References

1. Vorona N., Gavrikov A., Samokhin A., Smirnov V. and Khomyakov Yu. // Physics of Atomic Nuclei 78, 14, 1 (2015).
2. Smirnov V.P., Samokhin A.A., Vorona N.A., and Gavrikov A.V. // Plasma Phys. Rep. 39, 456 (2013).
3. Liziakin G. and Usmanov R. // Physics Procedia 71, 138 (2015).

Влияние высоких давлений на электрические свойства оксидов $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$ с гигантским значением диэлектрической проницаемости

Абдулло Алимахмадович Мирзорахимов¹,
Нина Владимировна Мельникова¹, Надежда Ивановна Кадырова²,
Юрий Галиулович Зайнулин², Алексей Николаевич Бабушкин¹

¹ Уральский федеральный университет, 620026 Россия, Екатеринбург, пр. Ленина, 51

² Институт химии твердого тела УрО РАН, 620990 Екатеринбург, ул. Первомайская, 91;
e-mail: xomi4ev@mail.ru, nvm.melnikova@gmail.com, kadyrova@ihim.uran.ru,
Zaynulin@ihim.uran.ru, alexey.babushkin@urfu.ru

В данной работе установлено, что с увеличением статистического давления электро-сопротивление материалов $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$ обладающих высокой диэлектрической проницаемостью (10^3 – 10^4), уменьшается, логарифм электросопротивления – почти линейная функция от давления в интервале давления 9–30 ГПа. 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.

Ключевые слова: перовскит, диэлектрик, высокое значение диэлектрической проницаемости, высокие давления, электрические свойства.

Соединение $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ и родственные ему материалы, кристаллизующиеся в кубической сингонии (пр. гр. $I\bar{m}3$) [1], обнаруживают при комнатных температурах гигантские значения диэлектрической проницаемости (10^4 – 10^5), которые остаются практически постоянными в широком температурном диапазоне [2]. Причины возникновения гигантских значений диэлектрической проницаемости до конца не изучены и являются предметом многочисленных исследований. В настоящей работе представлены результаты исследования по выявлению влияния давлений (от 9 ГПа до 30 ГПа), больших, чем давления, применяемые при синтезе материалов, на электрические свойства перовскитоподобных фаз $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$ ($x = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$), синтезированных термобарическим методом, проявляющих высокую диэлектрическую проницаемость [2-4]. Условия и аппаратура для термобарического синтеза подробно описаны в работе [3]. Рентгеноструктурные исследования (Shimadzu XDR-7000, CuK_α -излучение) показали, что все полученные фазы кристаллизуются в кубической симметрии и имеют перовскитоподобную структуру. Электрические свойства оксидов исследованы методом импедансной спектроскопии в диапазоне частот от 1 Гц до 30 МГц (Solartron 1260A) во всей исследуемой области давлений. Измерения электрических параметров проводили на образцах, помещенных в камеру высокого давления (КВД) с алмазными наковальнями из искусственных алмазов типа

«карбонадо», который хорошо проводит ток. Метод оценки давления и градуировка КВД описана в работах [5].

Ранее было показано [4], что увеличение содержания ванадия в материалах приводит к уменьшению энергии активации электропроводности, росту электропроводности, которая не зависит от частоты в интервале 100 Гц – 1МГц, сохранению высоких значений диэлектрической проницаемости, которая практически не меняется в частотном интервале 10^3 – 10^7 Гц.

Установлено, что при увеличении давления наблюдается уменьшение электросопротивления (рис 1, кривая а), виден резкий спад до ~18 ГПа. При дальнейшем повышении давления до 28 ГПа, уменьшения электросопротивления практически не происходит. Далее, при уменьшении давления (рис .1, кривая b), сопротивление немного увеличивается, но не возвращается к прежнему значению. После полного снятия нагрузки и релаксации в течении ~48 часа (рис. 1, линия с), электросопротивление возвращается к прежнему значению. При проведении второго цикла видно, что сопротивление воспроизводит такое же поведение, как и при первом цикле.

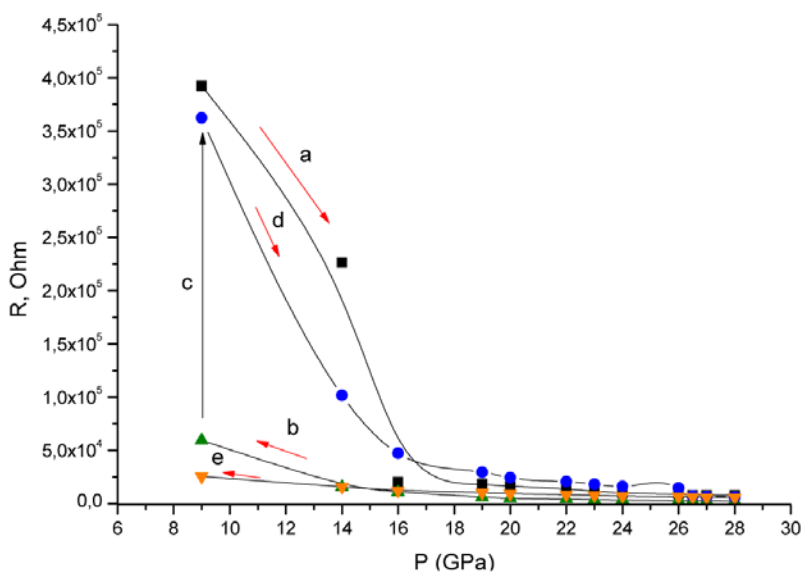


Рисунок 1. Барические зависимости электросопротивления $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$, $x = 0,2$, при увеличении (a, d), релаксации (c) и последующим уменьшении (b, e) давления.

Такое поведение электросопротивления при увеличении и последующем уменьшении давления может свидетельствовать об обратимых изменениях кристаллической и электронной структур.

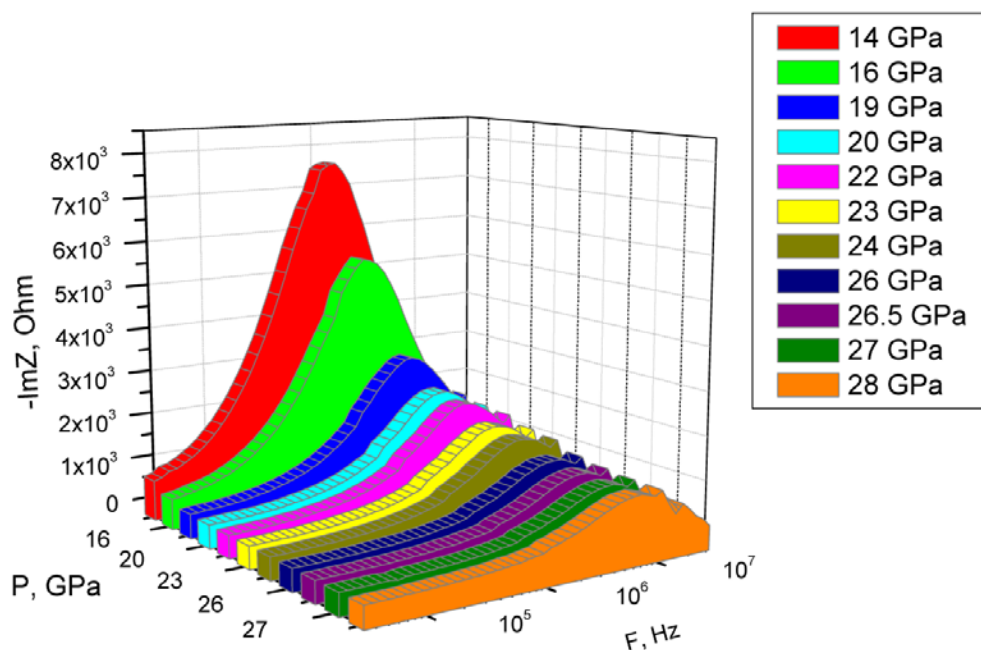


Рисунок 2. Частотно-барические зависимости мнимой части импеданса ячейки с образцом $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{3.8}\text{V}_{0.2}\text{O}_{12}$ при увеличении давления.

По вершинам графиков (рис. 2), соответствующим частотам, при которых можно оценить геометрическую емкость ячейки с образцом (C_g), проведена оценка значений диэлектрической проницаемости (ϵ) в зависимости от давления по формуле $\epsilon = \frac{C_g \cdot l}{\epsilon_0 \cdot S}$. Здесь l – длина образца, ϵ_0 – диэлектрическая постоянная вакуума, S – площадь поперечного сечения образца. Проведенная оценка влияния давления на величину диэлектрической проницаемости указывает на высокие её значения ($\sim 10^3$) в исследованной области давлений и на отсутствие дисперсии в области частот 10^2 – 10^7 Гц. Это свидетельствует о том, что причины высокой диэлектрической проницаемости материалов $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$, в том числе и в условиях высоких статических давлений, могут быть связаны с особенностями кристаллической структуры (которая сохраняется вплоть до давления 57 ГПа [6]), определяющими поляризованность, например, из-за смещения положения ионов титана и ванадия в октаэдрах TiO_6 и VO_6 .

Исследования выполнены при финансовой поддержке грантов РФФИ № 16-02-00857 и №15-03-00868.

Литература

1. *Subramanian M.A., et al.* // J. Solid State Chem. 2000. Vol. 151. pp. 737.
2. *Li T., Chen Z., Chang J. et.al.* // J. Mater. Sci. 2009. Vol. 44, pp. 6149.
3. *Kadyrova N.I., Zainulin Y.G., Melnikova N.V., Ustinova I.S., Grigorov I.G.* // Effect of thermobaric treatment on the structure and properties of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics. 2014. Vol. 78. No. 8. pp. 719-722.
4. *Мирзоррахимов А.А., Мельникова Н.В., Кадырова Н.И. и др.* // Физ. обр. в вузах. 2015, Т. 21. № 1С. С. 31.
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. 1993. J. Phys.: Condens. Matter. 5. pp. 8659-8664.
6. *Ma, Yanzhang, Liu, Jianjun; Gao, Chunxiao; et.al.* // Applied Physics Letters. 2006. Vol. 88 (19):191903.

Effect of High Pressures on the Electrical Properties of Oxides $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$ with Giant Permittivity

A.A. Mirzorakhimov¹, N.V. Melnikova¹, N.I. Kadyrova²,
Yu.G. Zaynulin², A.N. Babushkin¹

¹*Ural Federal University, Lenina Avenue 51, Ekaterinburg 620026, Russia*

²*Institute of Solid State Chemistry*

*of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Pervomaiskaya Street 91, Ekaterinburg 620219, Russia;*

*e-mail: xomi4ev@mail.ru, , nvm.melnikova@gmail.com, kadyrova@ihim.uran.ru,
Zaynulin@ihim.uran.ru, alexey.babushkin@urfu.ru*

Received January 17, 2016

PACS: 61.50.Ks

It was found that with increase of static pressure, the electrical resistance of the materials $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$ having a high dielectric constant (10^3 – 10^4) decreases, the logarithm of the resistivity – almost a linear function of the pressure in the pressure range 9–30 GPa. Preliminary assessment of the effect of a pressure on the value of permittivity, assessed from capacity of the sample cell, indicate the high values ($\sim 10^3$) of permittivity in the investigated pressure range.

Keywords: perovskite, high dielectric permittivity, high pressure, electrical properties.

References

1. *Subramanian M.A., et al.* // J. Solid State Chem. 2000. Vol. 151. pp. 737.
2. *Li T., Chen Z., Chang J. et.al.* // J.Mater. Sci. 2009. Vol. 44, pp. 6149.
3. *Kadyrova N.I., Zainulin Y.G., Melnikova N.V., Ustinova I.S., Grigorov I.G.* // Effect of thermobaric treatment on the structure and properties of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$, Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics. 2014. Vol. 78. No. 8. pp. 719-722.
4. *Mirzorakhimov A.A., Melnikova N.V., Kadyrova N.I., et.al.* // Physics in Higher Education. 2015. Vol. 21, № 1С, pp. 31 [in Russian].
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. 1993. J.Phys.: Condens. Matter. 5. pp. 8659-8664.
6. *Ma, Yanzhang, Liu, Jianjun; Gao, Chunxiao; et.al.* // Applied Physics Letters. 2006. Vol.88(19):191903.

Морфология и топология электроосажденных прекурсоров Cu-Zn-Sn для солнечных элементов на основе $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$

Алёна Викторовна Станчик¹, Юлия Сергеевна Яковенко²,
Семён Александрович Башкиров¹, Валерий Феликсович Гременок¹,
Игорь Серофимович Ташлыков²

¹ ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»
220072, Республика Беларусь, г. Минск, П. Бровки, 19

² Белорусский государственный педагогический университет им. М.Танка
220050, Республика Беларусь, г. Минск, Советская, 18; e-mail: alena.stanchik@bk.ru;
panta_07@mail.ru; disput@yandex.by; gremenok@physics.by; tashl@bspu.unibel.by

Приведены результаты исследования структуры поверхности Cu-Zn-Sn (CZT) прекурсоров пленки методом атомно-силовой и сканирующей электронной микроскопии. Прекурсоры CZT получены методом электрохимического осаждения на подложку из Та фольги. Установлено, что CZT представляет собой плотный однородный слой. Шероховатость поверхности прекурсоров составила в среднем 24,4 нм.

Ключевые слова: CZT, электрохимическое осаждение, морфология поверхности.

Благодаря своим оптическим и электрическим свойствам полупроводниковый материал $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (CZTSe) является перспективным для использования в качестве поглощающего слоя в тонкопленочных солнечных элементах. CZTSe, состоящий из широко распространенных и нетоксичных элементов, является хорошей альтернативой существующим материалам CdTe и CIGS, содержащим токсичные и редкие элементы.

В настоящей работе металлические прекурсоры Cu-Zn-Sn (CZT) получены методом электрохимического осаждения на подложку из фольги Та с последующей термической обработкой в атмосфере 95% Ag с добавлением 5% H_2 при температуре 300-350 °С в течение получаса. Поверхность прекурсоров CZT исследована методами сканирующей электронной микроскопии и атомно-силовой микроскопии.

Согласно полученным SEM-изображениям поверхности для прекурсоров CZT характерно наличие гладких и пористых участков. На SEM-изображении поперечного сечения прекурсоров CZT видно, что CZT представляет собой плотный однородный слой, толщина которого изменяется в интервале от 0.8 мкм до 1.0 мкм (рис. 1а).

На полученных 3D изображениях поверхности CZT наблюдаются углубления и холмообразные выступы (рис 1б). Максимальная высота рельефа поверхности, определяемая как разность высот между самой высокой и самой низкой точками поверхности, составляет 250,7 нм (рис. 1б). Шероховатость поверхности прекурсоров составила в среднем 24,4 нм.

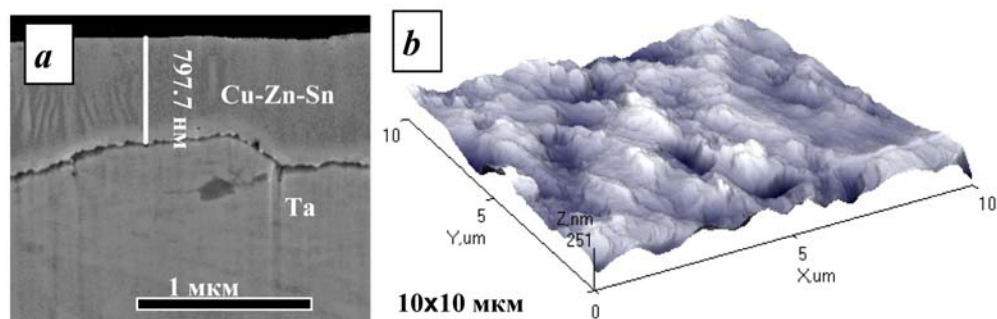


Рисунок 1. SEM-снимок поперечного сечения (a) и 3D АСМ-изображения (b) поверхности CZT.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ №Ф15КОР-004 и гранта МИЦНТ №080-310.

Morphology and Typology of Electrodeposited Cu-Zn-Sn Precursors for Solar Cells Based on $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$

A.V. Stanchik¹, S.A. Bashkirov¹, Y.S. Yakovenko², V.F. Gremenok¹, I.S. Tashlykov²

¹State Scientific and Production Association «Scientific-Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus»

220072, Belarus, Minsk, P. Brovki, 19

²Belarusian State Pedagogical University

220050, Belarus, Minsk, Sovetskaja, 18;

e-mail: alena.stanchik@bk.ru; panta_07@mail.ru, disput@yandex.by;

gremenok@physics.by; tashl@bspu.unibel.by

Received January 13, 2016

PACS: 68.37

This paper presents results of study surface structure of Cu-Zn-Sn (CZT) precursor films by AFM and SEM. CZT precursors were prepared by electrochemical deposition on a substrate of Ta foil. Established that CZT is a dense uniform layer. The surface average roughness parameter of precursors was 24.4 nm.

Keywords: CZT, electrochemical deposition, surface morphological studies.

Исследование эффекта экранирования магнитного поля при помощи высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП)

Юрий Владимирович Тысячных¹, Евгений Иванович Демихов¹,
Евгений Александрович Костров¹, Антон Викторович Маркелов²,
Владислав Сергеевич Калитка², Александр Александрович Молодык²

¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук
119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53; e-mail: myzar@mail.ru

² ЗАО «СуперОкс», 117246, Москва, Научный проезд, д. 20, стр. 2;
e-mail: a.molodyk@superox.ru

Исследовано экранирование магнитного поля с помощью различных типов ВТСП экранов. В работе представлены результаты измерений.

Ключевые слова: экранирование магнитного поля, ВТСП экран, сверхпроводимость, криорефрижератор.

В работе проводились исследования эффекта экранирования магнитного поля посредством экрана из высокотемпературного сверхпроводника. В криостат с магнитом (рисунок 1) помещался ВТСП экран с закрепленным к нему датчикам температуры, нагревателем и датчиками Холла, измеряющими величину осевого и радиального магнитного поля. Осевая напряженность магнитного поля варьировалась от 0,1 до 2 Тл. Экран захлаждался при помощи криорефрижератора замкнутого цикла, до температуры значительно ниже критической.

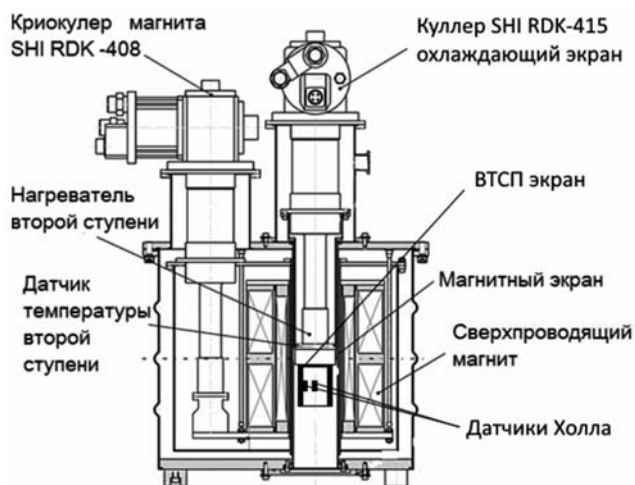


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки.

Были исследованы два типа экранов из ВТСП лент: аксиального типа (ленты расположены вдоль оси цилиндра) и экран, состоящий из намотанной на цилиндр ленты. В работе представлены результаты измерений.

Литература

1. Naumov P.G.; Lyubutin I.S.; Frolov K.V.; et al. // A closed-cycle cryostat for optical and Mossbauer spectroscopy in the temperature range 4.2-300 K, Instruments and Experimental Techniques, vol. 53, issue 5, pp. 770-776, 2010.
2. Demikhov E., Kostrov E., Lysenko V., Piskunov N. and Troitskiy V. // 8 T Cryogen Free Magnet With a Variable Temperature Insert Using a Heat Switch, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 20, no. 3, June 2010.
3. Demikhov T., Kostrov E.; Lysenko V., Demikhov E.; Piskunov N. // 9 T NbTi Cryogen Free HTS Test Stand IEEE Trans. Appl. Supercond, Vol: 22, Issue 3, 2012.
4. Choi Y.S., Kim D.L., Yang H.S., Lee B.S. and Jung W.M. // Cryocooled Cooling System for superconducting magnet, Cryocoolers 15, pp. 665-670, 2009.

Experimental Investigation of the Effect of Magnetic Field Shielding with HTSC

Yu.V. Tsyachnykh¹, E.I. Demikhov¹, E.A. Kostrov¹,
A.V. Markelov², V.S. Kalitka², A.A. Molodyk²

¹*P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences
53 Leninskiy Prospekt, 119991, Moscow; e-mail: myzar@mail.ru*

²*ZAO «SuperOx», 20/2 Nauchnyi proezd, Moscow, Russia 117246*

Received December, 25

PACS: 85.25.Am

We investigated magnetic field shielding effect of different types of HTSC shields. The paper presents the results of measurements.

Keywords: magnetic field shielding effect, HTSC shielding, superconductors, cryocooler.

References

1. Naumov P.G.; Lyubutin I.S.; Frolov K.V.; et al. // A closed-cycle cryostat for optical and Mossbauer

- spectroscopy in the temperature range 4,2-300 K, Instruments and Experimental Techniques, vol. 53, issue 5, pp. 770-776, 2010.
2. *Demikhov E., Kostrov E., Lysenko V., Piskunov N. and Troitskiy V.* // 8 T Cryogen Free Magnet With a Variable Temperature Insert Using a Heat Switch, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 20, no. 3, June 2010.
 3. *Demikhov T., Kostrov E.; Lysenko V., Demikhov E.; Piskunov N.* // 9 T NbTi Cryogen Free HTS Test Stand IEEE Trans. Appl. Supercond, Vol: 22, Issue 3, 2012.
 4. *Choi Y.S., Kim D.L., Yang H.S., Lee B.S. and Jung W.M.* // Cryocooled Cooling System for superconducting magnet, Cryocoolers 15, pp. 665-670, 2009.

Постер/Краткое сообщение

УДК.595.771:591.174

Математическая модель процесса передачи акустического сигнала насекомым

Алида Файзрахмановна Алыкова¹, Ольга Михайловна Алыкова²

¹ Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ
115409, г. Москва, Каширское ш., 31

² Астраханский государственный университет
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а; e-mail: waiste15@bk.ru

Модель, используемая для расчета процесса передачи акустического сигнала насекомым основана на предположении о том, что в заданную точку пространства от источника приходит только два луча: прямой и отраженный от поверхности Земли. Получены аналитические выражения для сигнала, шумов и отношение сигнал/шум. На основании расчетов было сконструировано устройство для отпугивания самок комаров.

Ключевые слова: полезный сигнал, шум, акустический сигнал, насекомые, управление биологическими объектами, математическая модель.

Модель распространения звука в приземном слое в пределах прямой видимости основывается на том, что в заданную точку пространства от источника приходит только два луча: прямой и отраженный от поверхности Земли, причем прямой луч не имеет точки поворота (нет рефракции). Для определения отдельных компонент ослабления звука при такой геометрии распространения звука от источника до приемника в пределах прямой видимости необходимо знание свойств подстилающей поверхности. Атмосферным ослаблением в прямой видимости можно пренебречь и учитывать только ослабление за счет поверхности Земли.

С учетом принятых допущений, полезный сигнал C , воспринимаемый органом слуха насекомого (в нашем случае Джонстоновым органом самки комара) можно представить в виде:

$$C(\nu) = \frac{1}{l^2} \cdot \int_{\nu_1}^{\nu_2} (r(\nu)\tau(\nu)\exp(-q(\nu)l))d\nu, \quad (1)$$

где $l = \sqrt{x^2 + (h_2 - h_1)^2}$, h_1 – расстояние от земной поверхности до биологического объекта (БО) (управления); h_2 – расстояние от земной поверхности до источника звукового сигнала (И); x – расстояние между И и БО по горизонтали; $r(\nu)$ – функция относительной спектральной способности источника звука; $\tau(\nu)$ – функция

относительной спектральной чувствительности органа слуха насекомого (самки комара); $q(\nu)$ – спектральный коэффициент поглощения звука в воздухе. Расстояние между источником и приемником звука по горизонтали для данных расчетов равно 6 м, диапазон частот Джонстонова органа слуха самки комара от 20 до 600 Гц, максимальная высота для источника и приемника звука не более двух метров.

$$Ш = Ш_{ест} + Ш_{иск}, \quad (2)$$

$$\frac{C}{Ш}(\nu) = \frac{\int_0^{\nu_2} r(\nu)\tau(\nu)\exp(-q(\nu)l)d\nu}{l^2(Ш_{ест} + Ш_{иск})} \quad (3)$$

Это позволило в конечном итоге сформировать аналитические выражения сигнала (1), шумов (2) и отношение сигнал/шум (3), определить зону эффективного действия, спроектированного устройства для отпугивания насекомых с помощью акустических сигналов в размере 1,5 метров при условии предельного значения отношения $C/Ш$ не менее 10.

A Mathematical Model of the Process of Transmission of the Acoustic Signal to Insects

A.F. Alykova, O.M. Alykova

*National research nuclear university «MEPhI»
115409, Moscow, Kashirskoe shosse, 31
Astrakhan State University, 414056, Astrakhan,
Tatishcheva 20a; e-mail: kof@asu.edu.ru*

Received January 15, 2016

PACS: 42.60.Fc

The paper presents a mathematical model. It is used to calculate the transfer of the acoustic signal insects. The model is based on the assumption that the given point of the source comes only two beams: the direct and reflected from the surface of the Earth. The analytical expressions for the signal to noise and signal / noise ratio. Based on calculations of the device designed to repel female mosquitoes.

Keywords: the useful signal, noise, an acoustic signal, insects, management of biological objects, mathematical model.

Методика расчета конфигурации магнитного поля для транспортировки электронного пучка

Никита Равильевич Асмедьянов, Юрий Александрович Трунев

Новосибирский государственный университет, физический факультет;

e-mail: asmed1996@gmail.com

Институт ядерной физики СО РАН; e-mail: ya.trunev@gmail.com

В работе представлены расчеты и измерения магнитного поля, формируемого системой катушек в составе стенда по испытаниям материалов комплекса ГОЛ-3. В первой части работы рассчитаны индуктивности обмоток магнитной системы, найдена зависимость тока питания обмоток от времени, приведено сравнение расчетов с измерениями тока питания катушек. Во второй части работы представлены расчеты магнитного поля, создаваемого обмотками, методом разбиения на элементарные кольца с током. Помимо того, сделано сравнение рассчитанного магнитного поля в нескольких точках установки, с измерениями для чего несколько вспомогательных магнитных катушек были использованы как индукционные датчики.

Ключевые слова: ГОЛ-3, магнитное поле, транспортирующая система, колебательный контур.

Блок питания системы представляет собой последовательный колебательный контур, управляемый через тиристор генератором запускающих импульсов. Энергия в него поступает через конденсаторы, заряжаемые от стороннего источника питания. С опорой на [1] была выведена зависимость тока в транспортирующей системе катушек (1), рассчитана индуктивность системы. Разработана программа Utilit3, выдающая данные о параметрах цепи, аппроксимируя осциллограммы по закону (1). Произведено сравнение измеренных и рассчитанных результатов (рис. 1).

С опорой на закон Био-Савара выведено распределение параллельной составляющей вектора амплитуды магнитного поля (2). Произведена её проверка индуктивным датчиком. Результаты видны в таблице.

$$I = U_0 C \left(\omega + \frac{\beta^2}{\omega} \right) \exp(-\beta t) \sin(\omega t), \quad (1)$$

где $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ – частота затухающих колебаний контура, $\beta = \frac{R}{2L}$ – коэффициент затухания, U_0 – начальное напряжение на конденсаторах. Остальные обозначения стандартны.

$$\text{Враг}(\zeta, t, \rho, I) := 2 \cdot I \cdot \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \left[\int_0^{\pi} \frac{(r_2(\rho, t, \text{alf}))^2}{(r(\zeta, t, \rho, \text{alf}))^3} d(\text{alf}) \text{ if } \rho < mr_t \right. \\
 \left. \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{(r_2(\rho, t, \text{alf}))^2}{(r(\zeta, t, \rho, \text{alf}))^3} d(\text{alf}) \text{ if } \rho = mr_t \right. \\
 \left. \left[\int_0^{\text{atan}\left(\frac{mr_t}{\rho}\right)} \frac{(r_2(\rho, t, \text{alf}))^2}{(r(\zeta, t, \rho, \text{alf}))^3} d(\text{alf}) \right] + \int_{\text{atan}\left(\frac{mr_t}{\rho}\right)}^0 \frac{(r_2(-\rho, t, \text{alf}))^2}{(r(\zeta, t, -\rho, \text{alf}))^3} d(\text{alf}) \text{ if } \rho > mr_t \right.$$

Здесь alf – угол между проекцией разницы радиус-векторов точки в пространстве и точки витка на плоскость витка с радиусом mr_t и координатой по оси системы mz и лучом, принятым за нулевой. r и r_2 – длины ортогональной и параллельной проекции этой разницы на плоскость витка. Полное магнитное поле вычисляется суммированием вышеуказанной величины для каждого витка (2).

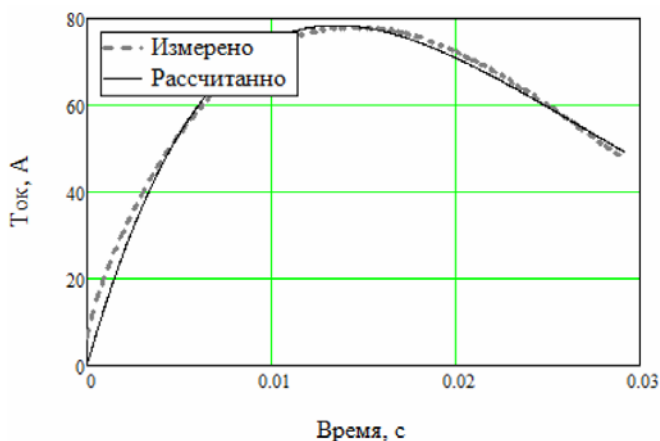


Рисунок 1. Сравнение действительного и рассчитанного тока в системе.

U0 [В]	V1выч [мТл]	V1изм [мТл]	V2выч [мТл]	V2изм [мТл]
79	2,37	2,37	2,13	2,21
158	4,37	4,45	4,26	4,13
203	6,09	6,56	5,47	6,07

V1 – показания первого датчика. V2 – второго.

Литература

1. Мищенко А. Линейные электрические цепи. Новосибирск. (2009).
2. Иванов А. К расчёту индуктивности и взаимной индуктивности катушек прямоугольного сечения. Новосибирск. (2002).
3. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. Москва. (1972).
4. Смайт, В. Электростатика и электродинамика. Москва. (1950).

Methods of Calculating the Magnetic Field Configuration for the Transport of the Electron Beam

N.R. Asmedianov, Y.A. Trunev

Novosibirsk State University, Faculty of Physics; e-mail: asmed1996@gmail.com

Budker Institute of Nuclear Physics; e-mail: y.a.trunev@gmail.com

Received January 28, 2016

PACS: 06.60.Mr

The paper presents the calculations and measurements of the magnetic field produced by a system of coils at the stand for Materials Testing complex GOL-3. In the first part of the calculated inductance coil magnetic system, the dependence of the current supply of the windings of the time is a comparison of the calculations with the measurements of the supply current of the coils. In the second part of the paper presents calculations of the magnetic field created by the windings, the method of splitting into elementary ring current. In addition, a comparison is made the calculated magnetic field at several points of the installation, with the measurements for which several auxiliary magnetic coils were used as induction sensors.

Keywords: GOL-3, magnetic field, conveying system, an oscillation circuit.

References [in Russian]

1. *Mishchenko, A.* Linear circuits. Novosibirsk. (2009).
2. *Ivanov, A.* Calculation of inductance and mutual inductance coils of rectangular cross section. Novosibirsk. (2002).
3. *Knopfel G.* Superstrong pulsed magnetic fields. Moscow. (1972).
4. *Smythe, C.* Электростатика и электродинамика. Moscow. (1950).

Влияние температуры на агрегацию полиметинового красителя

Александр Романович Быков¹, Ольга Георгиевна Андросова²,
Юрий Игоревич Прокофьев³, Татьяна Васильевна Лаптинская⁴,
Борис Исакович Шапиро

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

^{2,3} Лаборатории «Нанотехнологий» ЕГУ им. И.А. Бунина

⁴ Кафедра «Физики полимеров и кристаллов», МГУ им. М.В. Ломоносова

⁵ Московский государственный университет тонких химических технологий
им. М.В. Ломоносова

Исследовано формирование пленки полиметинового красителя за счет образования агрегатов красителя методом self-assembling. Показано, что формирование пленки происходит более интенсивно при увеличении температуры.

Ключевые слова: J-агрегаты, молекулярные комплексы, спектрофотометрия, тонкие пленки.

Широкое развитие оптических методов записи больших массивов информации привело к тому, что особое место в воспроизведении информации играют агрегаты органических соединений определенного строения с заданными оптическими и электронными свойствами. Одним из классов таких веществ являются красители. Особый интерес вызывают полиметиновые красители, склонность которых к агрегации широко известна [1].

Образование J-агрегатов наблюдают в растворах [2], в кристаллах [3], в пленках Ленгмюра-Блоджет [4]. В связи с широким применением полимерных гелей в современных технологиях, изучение агрегации полиметиновых красителей представляет собой весьма интересную задачу.

Целью данной работы является изучение влияния температуры, при которой осуществляется осаждение монослоев полиметинового красителя на полиэлектролитную полимерную матрицу методом самосборки, на спектральные характеристики образца.

В данной работе использовался краситель триэтиламмониевая соль 3,3'-ди-γ-сульфопропил – 5,5'-дихлортиацианинбетаина, синтезированный в научном центре НИИХИМФОТОПРОЕКТ (рисунок 1).

На специально подготовленную твердую подложку методом самосборки (self-assembling) послойно наносили раствор красителя. После высыхания пленки проводили измерение спектра поглощения (спектрофотометр DR-5000, HACH-LANG) каждого слоя образца.

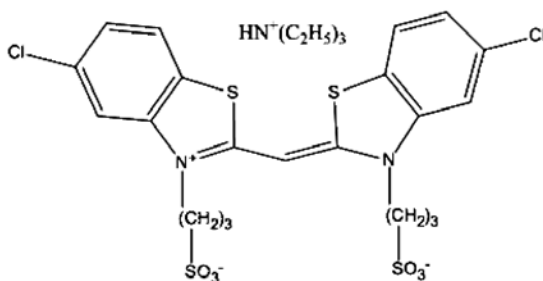


Рисунок 1. Краситель триэтиламмония соль 3,3'-ди- γ -сульфопропил – 5,5'-дихлортиацианинбетаина.

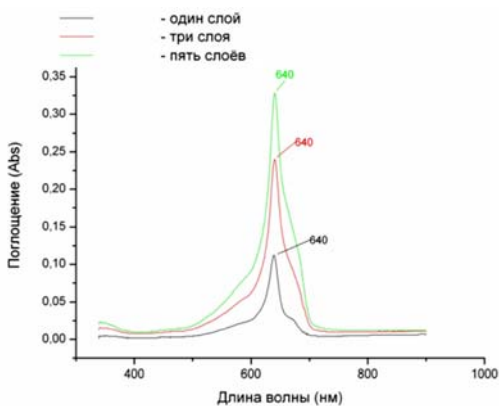


Рисунок 2. Спектры красителя, нанесенного на подложку при температуре 4 °С.

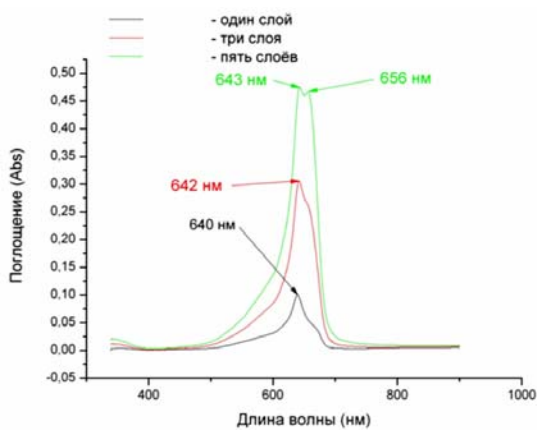


Рисунок 3. Спектры красителя, нанесенного на подложку при температуре 24 °С.

Одним из важнейших параметров красителя нанесенного на твердую подложку является количество слоев красителя. На рис. 2 представлены спектры красителя, нанесенного в 1, 3 и 5 слоев соответственно при температуре 4°C. На рис. 3 представлены спектры красителя, нанесенного в 1, 3 и 5 слоев соответственно при температуре 24°C.

Полученные результаты позволяют утверждать, что при более высокой температуре осаждение красителя на полиэлектролитные пленки, нанесенных на твердую подложку, происходит более интенсивно.

Литература

1. Авдеева В.И., Шатино Б.И. // Журнал научной и прикладной фотографии, т. 44. 1999. С. 20.
2. Южаков В.И. // Успехи химии, т. 61, № 6, 1992, С. 1153.
3. Higgins D.A., Kemiro J., Vaden Bout D.A., Barbara P.F. // J. Am. Chem. Soc., vol. 118, 1996, P. 4049.
4. Рамбиди Н.Г., Замалин В.М. // Поверхность. т. 8, № 1, 1986, С. 5.

The Effect of Temperature on the Aggregation of Polymethine Dye

A.R. Bykov¹, O.G. Androsova², Yu.I. Prokofiev³, T.V. Laptinskaya⁴, B.I. Shapiro⁵

¹ Yelets State University, 399770, Yelets, Kommunarov's str.; e-mail: ikt-inform@mail.ru

² Researcher at the Laboratory "Nanotechnology", ESU

³ Researcher at the Laboratory "Nanotechnology", ESU

⁴ Department "Physics of Polymers and Crystals", Moscow State University

⁵ Professor, Doctor of Chemistry, Moscow State University of Fine Chemical Technologies

Received December 25, 2015

PACS: 75.60.Ch, 75.70.Ak

Study the formation of a polymethine dye film due to the formation of dye aggregates by self-assembling. It is shown that film formation occurs more rapidly with increasing temperature.

Keywords: J-aggregates, molecular complexes, spectrophotometry, thin films.

References

1. Avdeeva V.I., Shapiro B.I. // Scientific & applied photography, vol. 44. 1999. P. 20 [in Russian].
2. Yuzhakov V.I. // Russian Chemical Reviews, vol. 61, № 6, 1992, P. 1153 [in Russian].
3. Higgins D.A., Kemiro J., Vaden Bout D.A., Barbara P.F. // J. Am. Chem. Soc., vol. 118. 1996, P. 4049.
4. Rambidi N.G., Zamalin V.M. // Surface. vol. 8, № 1, 1986, P. 5 [in Russian].

Изучение оптических свойств импульсно-периодического микроволнового резонансного разряда в аргоне

Ивона Василеска, Игорь Алексеевич Волдинер,
Мария Анатольевна Корнеева

Российский университет дружбы народов
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6; e-mail: ivonavasileska@yahoo.com,
reewo@rambler.ru, korneevama@mail.ru

Микроволновый резонансный разряд – объект исследования, имеющий много возможных и весьма перспективных технологических приложений. Среди огромного многообразия видов микроволновых разрядов [1] особый интерес представляет плазма с очень высокой плотностью и температурой, возникающая в микроволновом резонаторе, помещенном в магнитостатическое поле, при давлении плазмообразующего газа вблизи верхней границы рабочего диапазона давлений. В этих условиях плазма является неравновесной ввиду существенного превышения средней энергии электронов над средней энергией ионов, атомов, радикалов и молекул газа. Основной целью таких исследований является получение информации о процессах, протекающих в такой плазме и влияющих на ее характеристики, что определяет область ее технологического применения.

Ключевые слова: импульсно-периодический микроволновый резонансный разряд, плазма, спектрометрические измерения, зондовые измерения.

Импульсно-периодический микроволновый резонансный разряд создавался в цилиндрическом TE_{111} резонаторе (2,45 ГГц) помещенном в магнитное поле ловушки пробочного типа ($SmCo_5$) с изменяемым профилем в атмосфере Ar в диапазоне давлений $1 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^{-3}$ Торр. Стенд был оснащен диагностическими (эмиссионная спектроскопия, зондовая диагностика, фотометрия) системами, объединенными под единым управлением на основе промышленного компьютера (шина PXI), что обеспечивало полную синхронизацию рабочего и измерительного цикла.

Целью работы являлось выявление зависимости параметров разряда и создаваемой плазмы от основных параметров рабочего цикла. Проведенные исследования показали, что в диапазоне рабочих параметров разряд обладает малой инерционностью зажигания (временной масштаб зажигания – от единиц до десятка мкс) и резким увеличением интенсивности излучения в видимом диапазоне в области верхней границы изучаемого диапазона давлений. Измерения падающей и отраженной мощности в сочетании с результатами, полученными с помощью зондовых, фото и спектрометрических измерений позволили определить рабочий диапазон, обеспечивающий максимальную энергоэффективность преобразования энергии

электромагнитной волны в оптическое излучение.

Литература

1. *Popov O.A.*, High Density Plasma Sources // Ed. Park Ridge, NJ, Noyes Publications, 1995.

Investigation the Optical Properties of a Impulse-periodic Microwave Resonant Argon Discharge

I. Vasileska, I.A. Voldiner, M.A. Korneeva

Peoples' Friendship University of Russia

117198, Moscow Miklukho-Maklaya str. 6;

e-mail: ivonavasileska@yahoo.com, reewo@rambler.ru,

korneevama@mail.ru

Received January 15, 2016

PACS: 52.25.-b, 52.50.Dg, 52.50.-b

Microwave resonance discharge – the object of study, has many potential and very perspective technological uses. Among the enormous variety of microwave discharges [1] the particular interest is that kind of plasma with a high densities and temperatures, occurs in the microwave resonator placed in the static magnetic field, the pressure of the plasma gas is near the upper limit of the working range pressures. In these circumstances, the non-equilibrium plasma is due to significant excess of the average energy of the electrons above the average energy of the ions, atoms, radicals and molecules of the gas. The main purpose of these studies is to obtain information about the processes occurring in a plasma and how they influence on its characteristics, which determines the field of its technological uses.

Keywords: impulse-periodic resonant microwave discharge, plasm, spectrometric measurements, probe measurements.

References

1. *Popov O.A.*, High Density Plasma Sources // Ed. Park Ridge, NJ, Noyes Publications, 1995.

Экспериментальное исследование и математическое моделирование эмиссии летучих органических соединений из отделочных материалов в воздух замкнутого помещения

Светлана Павловна Иванова

ООО «Академлаб»

630090, г. Новосибирск, ул. Инженерная, д. 20; e-mail: sveta.e.mc2@gmail.com

Проведена идентификация ЛОС, выделяемых основными отделочными материалами, методом хромато-масс-спектрометрии. Установлено, что материалы МДФ и ДСП имеют высокую удельную эмиссию ЛОС. Показано, что при повышении температуры удельная эмиссия ЛОС растет; относительная влажность практически не влияет на эмиссию ЛОС. Подобрана математическая модель, позволяющая предсказывать профиль концентрации ЛОС в воздухе замкнутых помещений.

Ключевые слова: газовая хромато-масс-спектрометрия, эмиссия ЛОС, экология, влияние микроклимата, моделирование, массоперенос, отделочные материалы.

В связи с ухудшающейся экологической обстановкой, все большее значение приобретают работы, посвященные изучению качества воздуха. Установлено, что содержание вредных веществ в воздухе замкнутых помещений, где человек проводит большую часть времени, в десятки раз превышает загрязнения атмосферного воздуха. Основными источниками загрязнений являются строительные и отделочные материалы. Интенсивность эмиссии вредных веществ из материалов зависит от условий их эксплуатации – температура, влажность, повреждение, пр. Данная работа посвящена определению летучих органических соединений (ЛОС), выделяемых различными материалами, установлению зависимостей интенсивности эмиссии ЛОС от параметров окружающей среды (температура и относительная влажность) и моделированию распределения профиля концентраций загрязнителей в воздух замкнутого помещения. Экспериментальные исследования были проведены с применением методов термической десорбции, газового хроматографического анализа и масс-спектрометрии. Математическое моделирование проводилось с помощью программного обеспечения Ansys Fluent. Установлено, что некоторые из исследованных образцов выделяют ЛОС, относящиеся к высокоопасным. Показано существенное увеличение эмиссии ЛОС из материалов при увеличении температуры окружающей среды. Подобрана математическая модель, позволяющая визуализировать процессы массопереноса и эмиссии, а также предсказывать профиль концентраций ЛОС в воздухе замкнутых помещений.

Experimental Study and Simulation Volatile Organic Compounds Emission from Furniture Materials in Indoor Air

S.P. Ivanova

Ltd. «Academlab»

*630090, Novosibirsk, Ingenernaya str., 20;
e-mail: sveta.e.mc2@gmail.com*

Received January 14, 2016

PACS: 52.25.Xz

Volatile organic compounds (VOCs) from furniture materials were GC-MS identified. Medium Density Fiberboard (MDF) and Particleboard have high emissions of VOCs. The emission of VOCs increases with increasing temperature. Relative humidity does not affect the VOCs emission. Simulation model was matched for VOCs concentration prediction in indoor air.

Keywords: gas chromatography-mass spectrometry; volatile organic compounds emission; buildings and furniture materials; microclimate; ecology.

Применение адсорбционной эллипсометрической порометрии для исследования деградации пористых диэлектриков во время травления

Иосиф Эдди Клементе^{1,2}, Андрей Валерьевич Мяконьких^{1,2}

¹ Физико-технологический институт РАН (ФТИАН РАН)
117218, Москва, Нахимовский пр-т, 36/1

² Московский физико-технический институт (ГУ)
141700, Долгопрудный, Институтский пер, д. 9; e-mail: clemente.iosif@gmail.com

В работе рассмотрен метод адсорбционной эллипсометрической порометрии. Указанный метод применён для исследования деградации пористых диэлектриков, подвергшихся плазмохимическому травлению. Измерены изменения распределения пор по размерам после плазмохимического травления.

Ключевые слова: адсорбционная эллипсометрическая порометрия, диэлектрики с низкой диэлектрической проницаемостью, плазмохимическое травление.

Пористые плёнки активно применяются в микроэлектронике в качестве изоляции в межсоединениях, в связи с их малой диэлектрической проницаемостью [1]. Плазмохимическое травление – единственный способ, позволяющий получать структуры на таких пленках с требуемыми характерными размерами. К пленкам предъявляется требование гидрофобности, однако они деградируют в ходе технологических процессов, например плазменного травления, что делает задачу исследования их пористости и гидрофильности весьма актуальной. В данной работе рассмотрен и реализован метод адсорбционной эллипсометрической порометрии.

Адсорбция паров органических растворителей или воды в порах изменяет эффективную диэлектрическую проницаемость плёнки, поскольку в порах диаметром в единицы нанометров конденсация даже ненасыщенных паров может происходить уже при комнатной температуре. Высокая чувствительность эллипсометрических измерений позволяет зафиксировать малые изменения диэлектрической проницаемости плёнки. Проводя эллипсометрические измерения образца, находящегося в струе газа с регулируемым относительным давлением паров адсорбата, можно получить зависимость эллипсометрических углов Ψ и Δ от парциального давления паров адсорбата. Применение модели эффективной среды для описания диэлектрической функции исследуемой плёнки позволяет определить пористость плёнки и получить изотермы адсорбции и десорбции, из которых можно рассчитать распределение пор по размерам. Использование в качестве адсорбата воды позволяет определить изменение гидрофильности плёнки.

Для измерений использовался спектральный эллипсометр М-2000Х (246-998 нм) с разработанной автоматизированной приставкой, реализующей метод адсорбционной эллипсометрической порометрии. Выполнены измерения промышленных пористых пленок, использующихся в металлизации УБИС. Измерены изменения распределения пор по размерам после плазмохимического травления.

Литература

1. *Baklanov M.R., Mogilnikov K.P.*, Microelectronic Engineering 64, 2002, pp. 335–349.

Application of Ellipsometric Porosimetry for Measurement of Porous Dielectrics Degradation During Plasma Etching

I.E. Clemente^{1,2} A.V. Miakonkikh^{1,2}

¹ *Institute of Physics and Technology of Russian Academy of Sciences
117218, Moscow, Nakhimovsky av., 36/1*

² *Moscow Institute of Physics and Technology
141700, Moscow Region, Dolgoprudny, Institutskiy per., 9;
e-mail: clemente.iosif@gmail.com*

Received January 14, 2016

PACS: 85.40.Ls

The paper presents a method of ellipsometric porosimetry. The method was applied for study of degradation of porous dielectrics, which were subjected to plasma etching. Changes in the pore size distribution were measured.

Keywords: ellipsometric porosimetry, low-k dielectrics, plasma etching.

References

1. *Baklanov M.R., Mogilnikov K.P.*, Microelectronic Engineering 64, 2002, pp. 335–349.

Движение электрона в поле мощного лазерного излучения и во внешнем магнитном поле

Никола Маркоски

Российский университет дружбы народов, кафедра прикладной физики
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: manmacedonia@yahoo.com

Получены усредненные уравнения движения электрона в поле мощного лазерного импульса, распространяющегося вдоль постоянного магнитного поля.

Ключевые слова: релятивистский электрон, лазерный импульс, параксиальное приближение, усредненные силы.

Движение заряженных частиц в поле мощного лазерного излучения в разных условиях рассматривалось в работах [1-4]. Особенность такого излучения состоит в том, что отношение амплитуды осцилляторной скорости частицы к скорости света не является малым. Поэтому обычный метод разложения по этому параметру не применим. При описании лазерного излучения в параксиальном приближении используется малый параметр – отношение длины волны к сужению лазерного гауссова пучка [5]. В работе [4] рассматривалось движение частицы в поле лазерного излучения с помощью разложений по этому параметру и усреднения по быстрой фазе. При этом внешнее магнитное поле не учитывалось.

В данной работе рассматривается движение электрона в поле мощного лазерного импульсного излучения, распространяющегося вдоль внешнего постоянного магнитного поля. Лазерное излучение задается в виде гауссова пучка круговой поляризации с учетом поправок первого приближения [5]. Для устранения больших быстро осциллирующих членов в релятивистских уравнениях движения аналогично [4] проводится преобразование поперечных компонентов вектора импульса при отсутствии условия циклотронного резонанса. Найден приближенный интеграл движения. Получены уравнения, описывающие усредненное воздействие на частицу мощного импульса фемтосекундной длительности.

Литература

1. *Quesnel B., Mora P.* // Phys. Rev. E. Vol. 58. 1998. P. 3719.
2. *Бочкарев С.Г., Быченков В.Ю.* // Квантовая электроника. Т. 37. 2007. С. 273.
3. *Galkin A.L., Korobkin V.V., Romanovsky M.Yu., Shiryayev O.B.* // Phys. Plasmas. Vol.15. 2008. P.023104.

4. Милантьев В.П., Кастильо А.Х. // ЖЭТФ. Т. 143. 2013. С. 642.

5. Милантьев В.П., Карнилович С.П., Шаар Я.Н. // Квантовая электроника. 2015. Т. 45. С. 1063.

Motion of Electron in the Intense Laser Pulse and in the Guiding Magnetic Field

Nikola Markoski

*Department of Applied Physics,
Peoples' Friendship University of Russia
117198, Moscow Miklukho-Maklaya str. 6;
e-mail: manmacedonia@yahoo.com*

Received January 14, 2016

PACS: 42.25.Bs

Averaged equations of motion of an electron in the intense laser pulse, propagating along the guiding magnetic field are obtained.

Keywords: Relativistic electron, laser pulse, paraxial approximation, averaged forces.

References

1. Quesnel B., Mora P. // Phys. Rev. E. Vol. 58. 1998. P. 3719.
2. Bochkarev S.G., Bychenkov V.Yu. // Quantum Electronics. Vol. 37. 2007. P. 273 [in Russian].
3. Galkin A.L., Korobkin V.V., Romanovsky M.Yu., Shiryaev O.B. // Phys. Plasmas. Vol.15. 2008. P.023104.
4. Milant'ev V.P., Castillo A.J. // JETP. Vol. 116. 2013. P. 558 [in Russian].
5. Milant'ev V.P., Karnilovich S.P., Shaar Ya.N. // Quantum Electronics. Vol. 45. 2015. P.1063 [in Russian].

Исследования собственных колебаний тонкостенной цилиндрической оболочки

Гульнара Фриловна Сафина, Ангелина Родионовна Овчинникова

Нефтекамский филиал Башкирского государственного университета
452680, Нефтекамск, Тракторная, 1; e-mail: safinagf@mail.ru, aoff94@mail.ru

В данной работе проведены исследования свободных колебаний тонкостенной круговой цилиндрической оболочки. С помощью принятых допущений для оболочки получено частотное уравнение спектральной задачи. По решению прямой задачи исследовано влияние на собственные частоты колебаний таких параметров, как радиус, длина и толщина оболочки. Зависимости рассмотрены при различных физических параметрах оболочки, приведены графики и таблицы зависимостей. Проведенные исследования учитываются при постановке и решении обратной спектральной задачи – задачи диагностирования характеристик оболочки по известным частотам ее колебаний. Важным аспектом исследования является также решение задачи сохранения безопасных частот колебаний оболочки посредством изменения ее параметров. Приведены программные реализации алгоритмов решений прямой и обратной задач.
Ключевые слова: тонкостенная цилиндрическая оболочка, частоты свободных колебаний, диагностирование характеристик, сохранение частот.

Представленная работа относится к исследованиям в диагностировании механических систем и их составляющих по известным частотам их свободных колебаний [1–4]. Приняты стандартные допущения [1] для таких оболочек, которые позволяют решать задачу колебаний в линейной постановке с малой погрешностью порядка δ/R в сравнении с единицей. Здесь δ – толщина оболочки, а R – радиус её срединной поверхности (рисунок 1).

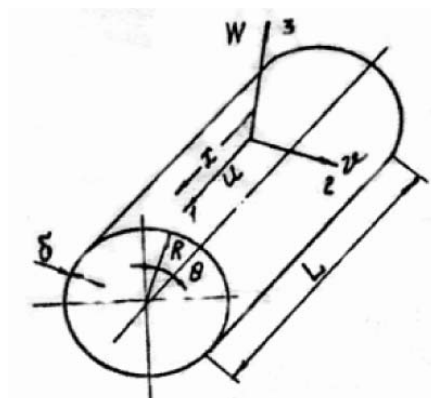


Рисунок 1. Круговая цилиндрическая оболочка.

Задача динамики оболочки сведена к необходимости решения системы дифференциальных уравнений в частных производных с краевыми условиями в виде свободных опор оболочки. Получено частотное уравнение, положительные корни которого соответствуют квадратам частот трёх основных видов колебаний оболочки. Для каждого из трёх видов колебаний показано бесконечное число собственных частот и форм колебаний.

По прямой спектральной задаче исследованию влияние характеристик оболочки на частоты ее колебаний. Зависимости рассмотрены при различных физических параметрах оболочки. Приведены соответствующие графики и таблицы.

Поставлены и решены также обратные задачи диагностирования характеристик оболочки по известным значениям частот ее колебаний. Проведенные исследования учтены при рассмотрении проблемы сохранения безопасных частот колебаний оболочки. Предложен алгоритм сохранения прежних частот колебаний с помощью изменений в физических параметрах оболочки.

Литература

1. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в 3-х томах. Т. 1 / Под ред. А. Биргера, Я.Г. Пановко. М.: Машиностроение, 1983.
2. *Сафина Г.Ф.* Акустическое диагностирование механических систем: монография. В 2 ч. Ч.2 – Уфа: РИЦ БашГУ, 2014. 110 с.
3. *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.
4. *Сафина Г.Ф.* Акустическое диагностирование характеристик лопаток турбины, связанных бандажом // *Контроль. Диагностика.* 2014. № 7. С. 64-72.

Study of the Natural Oscillations a Thin-walled Cylindrical Shell

G.F. Safina, A.R. Ovchinnikova

*Neftekamsk branch of the Bashkir state university
452680, Neftekamsk, Traktovaya St, 1;
e-mail: safinagf@mail.ru, aoff94@mail.ru*

Received November 30, 2015

PACS: 02.90

The paper studies free vibrations of a thin-walled circular cylindrical shell. With the assumptions made for the shell, the frequency equation of the spectral problem is derived. Based on the solution to the direct problem the effect of such parameters as radius, length and thickness of the shell on the natural frequencies is studied. The dependencies are considered under various physical parameters of the shell, the graphs and tables of the dependencies are presented. The studies are used in formulating and solving the inverse spectral problem – the problem of diagnosing the characteristics of shell by the known frequency of its vibrations. Another important aspect of the study is solving the problem of preserving safe vibration frequencies of the shell by changing its characteristics. The program implementation of algorithms for solving direct and inverse problems is provided.

Keywords: thin-walled cylindrical cover, free vibrations frequency, diagnosing of characteristics, preservation of frequencies.

References [in Russian]

1. Durability, stability, vibrations. Reference book in 3 volumes. Vol.1 / Ed. Birger A., Panovko Y.G. Moscow: Mechanical Engineering, 1983.
2. *Safina G.F.* Acoustic diagnostics of mechanical systems: monograph. In 2 volumes. Volume 2 – Ufa: RIC BSU, 2014, p. 110.
3. *Safina G.F., Ivanova E.A.* Diagnosing rotor support stiffness by the frequency of its free vibrations. // Physics in Higher Education, 2014. Volume 20, No 1C, p. 33.
4. *Safina G.F.* Acoustic diagnosing of characteristics of a turbine blades tied by a bandage//Control. Diagnostics. 2014. No 7. Pp. 64-72.

Исследование вида зависимости коэффициента полезного действия малоомощных полупроводниковых лазеров от мощности, потребляемой от источника питания

Владимир Вячеславович Смирнов¹, Григорий Валерьевич Ракин²,
Сергей Владимирович Смирнов³

¹ Астраханский госуниверситет
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а; e-mail: kof@asu.edu.ru

² МБОУ «Гимназия 1», г. Астрахань

³ МБОУ «Гимназия 3», г. Астрахань

В работе приведены результаты исследования зависимости коэффициента полезного действия полупроводникового лазера от мощности, потребляемой от источника питания. Зависимость КПД малоомощного лазера от потребляемой мощности имеет четко выраженный максимум, наличие которого объясняется достижением излучающим кристаллом некоторой критической температуры, после которой увеличение потребляемой мощности ведет к увеличению излучаемой, но эффективность процесса преобразования энергии уменьшается. Абсолютное значение излучаемой мощности определялось тепловым методом.

Ключевые слова: полупроводниковый лазер, коэффициент полезного действия, излучаемая мощность, потребляемая мощность.

В работе решалась познавательная задача «Установить вид зависимости одной физической величины от другой» [1], а именно вид зависимости коэффициента полезного действия малоомощного полупроводникового лазера от потребляемой мощности.

В качестве объекта исследования были взяты лазерные модули. Их технические характеристики и количество, использованных в работе, приведено в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики исследуемых лазерных диодов

Тип лазерного модуля	Излучаемая длина волны	Рабочее напряжение	Номинальный ток	Мощность по паспорту	Кол-во
ZT-S121	650 нм	3 – 6 В	40 мА	≤ 5 мВт	5
ZT-S681	650 нм	3 – 6 В	40 мА	≤ 5 мВт	5
HLDPM12-655-10	655 нм	до 12		10 мВт	3

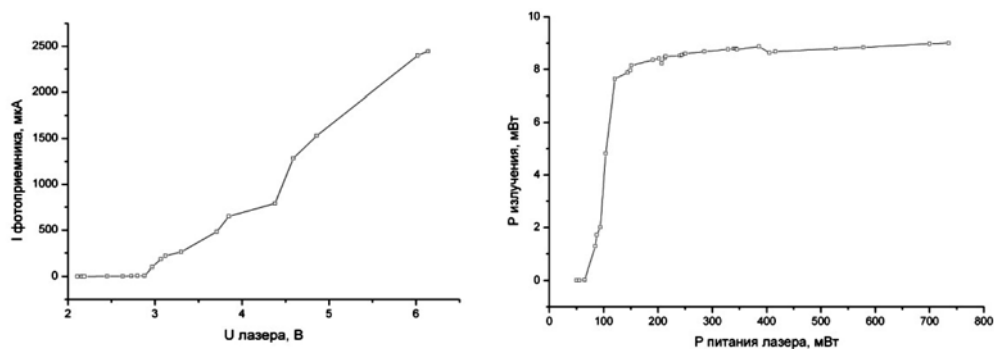


Рисунок 1. Вид зависимости: фототока от напряжения питания лазера (а), излучаемой мощности от потребляемой (б).

Теоретически коэффициент полезного действия полупроводникового лазера может быть оценен как $KПД = \frac{P_0}{IU}$, где IU – электрическая мощность накачки лазера, U – электрическое напряжение, приложенное к лазерному диоду, I – ток, протекающий через переход.

$$P_0 = \frac{(I - I_{пор}) \eta_i h \nu}{e} \cdot \left(\frac{-\frac{1}{L} \ln R}{\alpha - \frac{1}{L} \ln R} \right)$$

– выходная мощность лазера, где $(I - I_{пор})$ – разность тока, протекающего через переход, и порогового тока; η_i – внутренняя квантовая эффективность. Мощность, рассеиваемая внутри лазерного резонатора, пропорциональна α ; мощность, излучаемая через концевые отражатели, пропорциональна $-\frac{1}{L} \ln R$. Окончательно [2]

$$KПД = \eta_i \left(\frac{I - I_{пор}}{I_{пор}} \right) \cdot \left(\frac{h \nu}{e U} \right) \cdot \left(\frac{\ln \left(\frac{1}{R} \right)}{\alpha L + \ln \left(\frac{1}{R} \right)} \right)$$

Как видно из приведенных формул, нахождение значений коэффициентов, используемых в них, вне специализированной лаборатории, весьма затруднительно. Поэтому теоретически излучаемая мощность и КПД лазера не рассчитывались. В эксперименте, для оценки излучаемой мощности, луч лазера направлялся на фотодиод ФД-24К, работающий в фотогальваническом режиме. Под воздействием светового потока, падающего на входное окно фотодиода, возникает фотоэдс, и в замкнутой цепи течет ток, величина которого прямо пропорциональна интенсивности лазерного излучения (поток излучения) [3]. Интересующие графики зависимостей излучаемой

мощности от напряжения питания, потребляемой мощности и так далее, можно построить в этом случае в относительных единицах (рис. 1).

Абсолютное значение излучаемой мощности определялось по нагреву светопоглощающей пластинки (тепловой метод) [4]. Падающий луч нагревал площадку из олова. Мощность лазера рассчитывалась по соотношению

$$cm \cdot \Delta t = P \cdot t,$$

где c – удельная теплоемкость олова, m – масса фольги, Δt – изменение температуры, P – мощность лазера, t – время нагрева. Так как масса фольги составляла 0,05 г, нагрев происходил быстро, то потерями тепла в окружающую среду и провода термодпары пренебрегали. При фототоке 100 мкА нагрев на температуру около 1 градуса (точность измерений была ограничена точностью имеющийся термодпары и мультиметра) происходил за время примерно 1÷1,5 секунды.

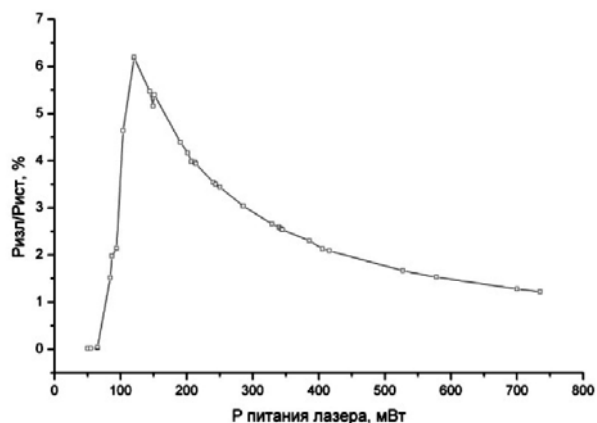


Рисунок 2. Вид зависимости коэффициента полезного действия малоомощного полупроводникового лазера от потребляемой мощности (на примере лазерного модуля HLDPM12-655-10).

Как видно из рис. 2, исследуемая зависимость КПД лазера от потребляемой мощности имеет четко выраженный максимум. Его наличие очевидно связано с достижением излучающим кристаллом некоторой критической температуры, после которой увеличение потребляемой мощности ведет к увеличению излучаемой, но эффективность процесса преобразования энергии уменьшается.

Литература

1. Смирнов, В.В. Введение в практикум по общей физике: учеб. пособие / С.В. Анофрикова,

- Г.П. Стефанова, В.В. Смирнов. – Астрахань: Изд. дом «Астраханский университет», 2006. – 150 с.
2. *Иванов Н.А.* Полупроводниковые инжекционные лазеры: Методические указания – Иркутск, ИГУ, 2005. с 16. – <http://www.fineprint.com>
3. *Андреева О.В., Парамонов А.А., Павлов А.В., Артемьев С.А., Ионина Н.В., Крылов В.Н., Златов А.С.* Экспериментальный практикум по оптоинформатике. Учебное пособие. – СПб: СПбГУИТМО, 2008. – 136 с.
4. Характеристики лазерного излучения <http://www.vvpnews.ru/referat2376.htm>

The Study of the Dependence of the Efficiency of Low-power Semiconductor Lasers from the Power Consumed from the Power Source

V.V. Smirnov, G.V. Rakin, S.V. Smirnov
Astrakhan State University, 414056, Astrakhan,
Tatishcheva 20a, e-mail: kof@asu.edu.ru

Received January 15, 2016

PACS: 42.60.Fc

In this paper is results of research of dependence of efficiency of a semiconductor laser from the power consumed from the power source. The dependence of the efficiency of low-power laser on the power consumption has a clearly pronounced maximum, which is explained by the attainment of radiant crystal a certain critical temperature, after which an increase in input power leads to an increase in the radiated, but the efficiency of energy conversion decreases. The absolute value of the radiated power was determined by a thermal method.

Keywords: semiconductor laser, efficiency, radiated power, consumed power.

References

1. *Smirnov, V.V.* Introduction to the practicum on General physics: proc. textbook / S.V. Anofrikov, G.P. Stefanova, V.V. Smirnov. – Astrakhan: Izd. house “Astrakhan University”, 2006. – 150 p. [in Russian].
2. *Ivanov, N.A.* Semiconductor injection lasers: Methodological Guidelines – Irkutsk, ISU, 2005. p. 16. - <http://www.fineprint.com> [in Russian].
3. *Andreeva O.V., Paramonov A. A., Pavlov A.V., Artemyev S. A., Ionin N. In., Krylov V.N., Zlatov A.S.* Experimental workshop on optical information technology. Training manual. – Saint Petersburg: NRU ITMO, 2008. – 136 p [in Russian].
4. Characteristics of laser radiation <http://www.vvpnews.ru/referat2376.htm> [in Russian].

Двойственность диагностирования коэффициентов жесткостей опор ротора

Гульнара Фриловна Сафина, Ильвина Мадисовна Райанова

Нефтекамский филиал Башкирского государственного университета
452680, Нефтекамск, Тракторная, 1; e-mail: safinagf@mail.ru, rayanova_95@mail.ru

В работе решены прямая задача определения частот свободных изгибно-поперечных колебаний ротора на упругих опорах и обратная задача диагностирования коэффициентов относительных жесткостей опор ротора. По решению прямой задачи исследовано влияние на собственные частоты колебаний ротора его физических характеристик. Сформулирована и доказана теорема о двойственности решения обратной задачи диагностирования. Найден метод определения коэффициентов относительных жесткостей опор ротора по двум известным значениям частот колебаний ротора. Исследован также вопрос о решении задачи сохранения безопасных частот колебаний ротора путем соответствующих изменений жесткостей его упругих закреплений. Приведены программные реализации алгоритмов решений прямой и обратной задач. *Ключевые слова:* ротор на упругих опорах, частоты свободных колебаний, задача диагностирования, сохранение частот.

В представленной работе в продолжение исследований [1-3] решена обратная задача диагностирования коэффициентов жесткостей опор ротора по известным частотам его свободных поперечно-изгибных колебаний. Рассмотрена динамическая модель ротора (рисунок 1), которая представлена в виде вращающегося упругого стержня на упругих опорах.

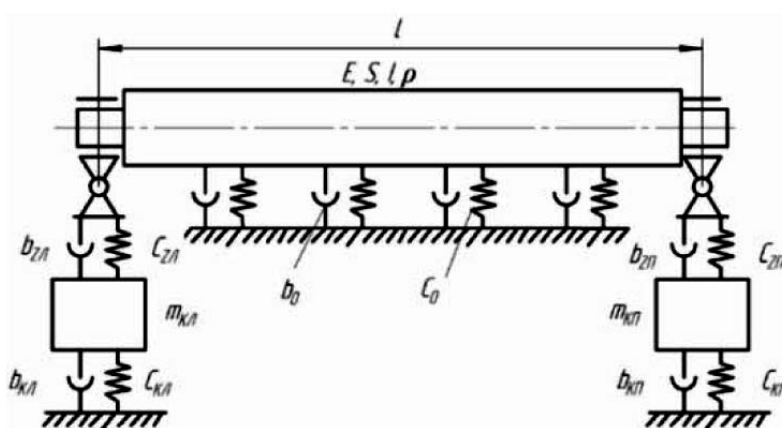


Рисунок 1. Динамическая модель ротора.

Получено уравнение для определения частот поперечно-изгибных колебаний ротора [4]:

$$2sh\lambda \sin \lambda + (2shK_d + K_n)(sh\lambda \cos \lambda - \sin \lambda ch\lambda) + K_d K_n (1 - ch\lambda \cos \lambda) = 0. \quad (1)$$

В уравнении (1): K_d , K_n – коэффициенты относительной жесткости правой и левой опор ротора, λ – собственное значение, содержащее в себе частоту ω колебаний ротора. Поставлена и решена задача акустического диагностирования коэффициентов жесткостей упругих опор ротора. Доказана теорема о двойственности решения задачи поставленной задачи. Найдены аналитические формулы для коэффициентов относительных жесткостей опор ротора.

Доказанная теорема позволяет определить метод решения обратной спектральной задачи по известным двум собственным частотам ее колебаний. Приведены примеры решения обратной задачи диагностирования краевых условий по известным двум собственным значениям спектральной задачи и программные реализации алгоритма решения.

Предложен также алгоритм сохранения безопасных частот колебаний ротора с помощью изменений коэффициентов относительной жесткости его упругих опор.

Литература

1. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в 3-х томах. Т. 1 / Под ред. А. Биргера, Я.Г. Пановко. М.: Машиностроение, 1983.
2. Сафина Г.Ф. Акустическое диагностирование механических систем: монография. В 2 ч. Ч.2 – Уфа: РИЦ БашГУ, 2014. 110 с.
3. 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.
4. Раянова И.М. Частотное уравнение поперечно-изгибных колебаний ротора на упругих опорах / Материалы XI Всероссийской студенческой научно-практической конференции (с международным участием) «Первые шаги в науку третьего тысячелетия» [Электронный ресурс] – Уфа: РИЦ БашГУ, 2015. С. 402-405.

Duality of Diagnosing of Stiffness Coefficients of Rotor Supports

G.F. Safina, I.M. Rayanova

*Neftekamsk branch of the Bashkir state university
452680, Neftekamsk, Traktovaya St., 1;
e-mail: safinagf@mail.ru, aoff94@mail.ru*

Received November 30, 2015

PACS: 02.90

The paper addresses the direct problem of determining the frequency of free transverse bending vibrations of the rotor on elastic supports and the inverse problem of diagnosing the relative stiffness coefficients of the rotor supports. Solving the direct problem determines the effect of the rotor's physical characteristics on its natural frequencies. The duality of the inverse problem diagnostics theorem is formulated and proved. A method for determining the coefficients of the rotor supports relative stiffness based on two known values of the vibration frequencies is found. The paper also studies the issue of solving the problem of preservation of safe vibration frequencies of the rotor by corresponding changes in its elastic fixings stiffness. The program implementation of algorithms for solving direct and inverse problems is presented.

Keywords: rotor on elastic supports, free vibrations frequency, diagnostics problem, preservation of frequencies.

References [in Russian]

1. Durability, stability, vibrations. Reference book in 3 volumes. Vol.1 / Ed. Birger A., Panovko Y.G. Moscow: Mechanical Engineering, 1983.
2. *Safina G.F.* Acoustic diagnostics of mechanical systems: monograph. In 2 volumes. Volume 2 – Ufa: RIC BSU, 2014, p. 110.
3. *Safina G.F., Ivanova E.A.* Diagnosing rotor support stiffness by the frequency of its free vibrations. // Physics in Higher Education, 2014. Volume 20, No 1C, p. 33.
4. *Rayanova I.M.* The frequency equation of free transverse bending vibrations of the rotor on elastic supports. Materials of XI All-Russian students scientific and practical conference (with the international participation) “The first steps in science of the third millennium” [An electronic resource] – Ufa: BASHGU'S RITS, 2015, pp. 402-405.

Фазовый анализ электроосажденных прекурсоров Cu-Zn-Sn для солнечных элементов на основе $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$

Алёна Викторовна Станчик, Семён Александрович Башкиров,
Валерий Феликсович Гременок

ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»
220072, Республика Беларусь, г. Минск, П. Бровки, 19;
e-mail: alena.stanchik@bk.ru; disput@yandex.by; gremenok@ifttp.bas-net.by

Cu-Zn-Sn (CZT) прекурсоры пленок электрохимически осаждены на подложки из Ta и Mo фольги. Для определения фазового состава осажденных прекурсоров пленок использовался рентгенофазовый анализ. Было установлено, что в обоих случаях осажденные CZT пленки содержат следующие фазы: $\gamma\text{-Cu}_5\text{Zn}_8$, $\epsilon\text{-CuZn}_3$, Cu, Sn и Zn. Фаза $\eta\text{-Cu}_{6,26}\text{Sn}_5$ была обнаружена в CZT прекурсоры осажденном на Ta подложку.
Ключевые слова: CZT, электрохимическое осаждение, рентгенофазовый анализ.

Полупроводниковый материал $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (CZTSe) перспективен в качестве недорогого и нетоксичного поглощающего слоя в тонкопленочных солнечных элементах. Для получения пленок CZTSe в настоящее время уделяется большое внимание применению наиболее простой и дешевой технологии: на первом этапе получают металлические прекурсоры Cu-Zn-Sn (CZT), на втором этапе проводят термический отжиг (300-350 °С) и далее селенизация прекурсоров при температуре 500-550 °С. В настоящей работе впервые исследован фазовый состав металлических прекурсоров CZT, электроосажденных на подложки из фольги Mo и Ta. Установлено, что прекурсоры CZT содержат такие фазы, как $\gamma\text{-Cu}_5\text{Zn}_8$, Cu, $\epsilon\text{-CuZn}_3$, Sn и Zn (рис. 1).

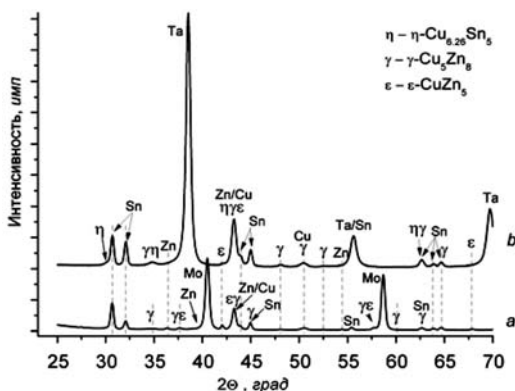


Рисунок 1. Рентгенограммы CZT на подложках из фольги Mo (a) и Ta (b).

Гексогональная фаза $\eta\text{-Cu}_{6.26}\text{Sn}_5$ присутствует только в составе прекурсора CZT, осажденного на Ta подложку. Полученные результаты находятся в хорошем соответствии с литературными данными для кристаллической структуры пленок, полученных другими методами и используемых для создания на их основе фотопреобразователей.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ №Ф15КОР-004 и гранта МИЦНТ №080-310.

Phase Analysis of Electrodeposited Cu-Zn-Sn Precursors for Solar Cells Based $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$

A.V. Stanchik, S.A. Bashkirov, V.F. Gremenok

*State Scientific and Production Association «Scientific-Practical Materials Research
Centre of the National Academy of Sciences of Belarus»*

220072, Belarus, Minsk, P. Brovki, 19;

e-mail: alena.stanchik@bk.ru; disput@yandex.by; gremenok@ifftp.bas-net.by

Received January 13, 2016

PACS: 68.55

Cu-Zn-Sn (CZT) precursors films on the substrates of Mo and Ta foil were electrochemically deposited. X-ray diffraction analysis was used to determine the phase composition of the as-deposited precursors films. It has been determined that in both cases as-deposited CZT films contains the following phases: $\gamma\text{-Cu}_5\text{Zn}_8$, $\epsilon\text{-CuZn}_5$, Cu, Sn and Zn. The hexagonal $\eta\text{-Cu}_{6.26}\text{Sn}_5$ phase was detected in CZT precursor deposited on the Ta substrate.

Keywords: CZT, electrochemical deposition, XRD.

Структура и свойства тонких пленок, полученных ВЧ-магнетронным распылением

Михаил Юрьевич Табаев, Николай Александрович Смоланов

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева
430005 г. Саранск, ул. Большевистская, 68; e-mail: smolanovna@yandex.ru

Методами измерения оптических и механических свойств исследованы пленки на основе нитрида титана, осажденные из плазмы магнетронного ВЧ-разряда. Полученные результаты трактуются зависимостью структуры получаемой пленки от взаимного положения подложка – мишень.

Ключевые слова: тонкие пленки, ВЧ-магнетрон, нитрид титана, плазма, оптическая спектроскопия, микротвердость.

Модернизация установки катодного распыления ННВ-6 дополнением ее ВЧ магнетрона, проведенная в лаборатории вакуумной ионно-плазменной обработки материалов МГУ им. Н.П. Огарева, позволила получать более качественные тонкие пленки. В ряде работ нами установлено, что важным фактором, влияющим на свойства ионно-плазменных покрытий, является положение изделий относительно распыляемых катодов [1].

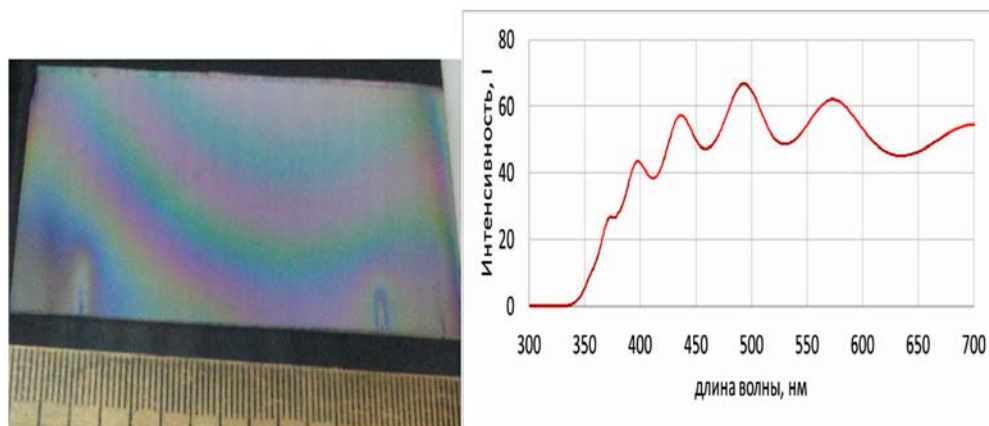


Рисунок 1. Внешний вид пленки на стеклянной подложке (а) и ее спектр пропускания (б).

Целью настоящей работы являлось исследование свойств и структуры пленок на основе нитрида титана (рис.1-а) в зависимости от положения образцов в вакуумной камере и режимов работы магнетрона. Установлено, что образующиеся пленки

толщиной до 100 нм – поликристаллические. В процессе нанесения покрытия исследовался спектр свечения плазмы титана в среде аргона, состоящий из линий свечения атомов Ti, Ag и их комплексов. Измерения микротвердости системы покрытие-подложка показали, что по мере увеличения мощности магнетрона ее значения уменьшаются.

Исследованы спектры пропускания полученных пленок в видимой области (рис. 1-б). Отмечены интерференционные эффекты, аналогичные результатам, полученными в работе [2]. В области 2700–2750 нм обнаружена зависимость формы и положения пика пропускания от длин волн.

Полученные результаты объясняются неоднородностью толщины и состава пленок. Для получения более однородных пленок необходима подборка режимов работы магнетронного узла и, особенно, расположение подложек в камере. Кроме того, предполагается проведение модельных экспериментов.

Литература

1. *Smolanov N.A., Pan'kin N.A.* // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2014, Vol. 8, № 5, p. 1089–1092.
2. *Гончаров А.А., Евсюков А.Н., Костин Е.Г. и др.* // ЖТФ, 2010, том 80, вып. 8, стр. 127-135.

The Structure and Properties of Thin Films Obtained RF-Magnetron Sputtering

Mikhail Tabaev, Nikolai Smolanov

*Ogarev Mordovia State University
430005, Saransk, Bolshevikskaya st., 68;
e-mail: smolanovna@yandex.ru*

Received December 25, 2015

PACS: 78.15-e

Methods of measuring the optical and mechanical properties are studied based on the film of titanium nitride deposited from plasma magnetron RF-discharge. The results are interpreted by the dependence structure of the relative position of the substrate – target.

Keywords: thin films, RF-magnetron, titanium nitride, plasma, optical spectroscopy, microhardness.

References

1. *Smolano* N.A., *Pan'kin* N.A. On the Structure and Properties of a Material Deposited from Arc Discharge Plasma near the Cathode and onto Vacuum Chamber Walls // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2014, Vol. 8, № 5, p. 1089–1092.
2. *Goncharov* A.A., *Yevsyukov* A.N., *Kostin* Ye.G. *i dr.*, Sintez nanokristallicheskikh plenok dioksida titana v tsilindricheskom gazovom razryade magnetronnogo tipa i ikh opticheskaya kharakterizatsiya, Journal of Technical Physics , 2010, Volume 80, no. 8, pp. 127-135 [In Russian].

Исследование вакуумной дуги с диффузной катодной привязкой как источника плазмы для плазменной сепарации ОЯТ

Равиль Анатольевич Усманов, Геннадий Дмитриевич Лизякин,
Владимир Павлович Полищук, Иван Михайлович Ярцев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН)
125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2; e-mail: ravus46@yandex.ru,
glizyakin@gmail.com, polistchook@mail.ru, ivan-ivtan@yandex.ru

Одним из вариантов высокопроизводительного источника плазмы для создания технологии плазменной сепарации отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) является вакуумная дуга. В данной работе экспериментально исследовался вакуумный дуговой разряд с диффузной привязкой на подогреваемом катоде. Катоды дуги выступали такие вещества как гадолиний, свинец, оксиды ниобия и титана, в той или иной степени моделирующие ОЯТ. В проводимых экспериментах исследовались вольтамперные характеристики полученных разрядов, а также параметры образующейся плазмы. На основе полученных данных дан положительный ответ на вопрос о применимости данного разряда как источника высокоионизированной плазмы для технологии плазменной сепарации.

Ключевые слова: вакуумная дуга, диагностика плазмы, гадолиний, свинец, оксид титана, оксид ниобия.

Для замыкания ядерного топливного цикла основанного на быстрых реакторах в качестве ключевого этапа переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) предлагается использовать метод плазменной сепарации [1], предполагающий разделение плазменного потока ОЯТ на тяжелые $M > 230$ а.е.м. и легкие $m < 160$ а.е.м. компоненты. В качестве решения проблемы перевода конденсированного вещества ОЯТ в плазменное состояние может выступать источник плазмы на основе вакуумной дуги с диффузной катодной привязкой. Особенности данного разряда являются высокая производительность, отсутствие микрокапельной фракции в продуктах эрозии катода, высокая степень ионизации и возможность управлять параметрами разряда при помощи внешнего подогрева катода. Работа посвящена экспериментальному исследованию вакуумной дуги на подогреваемом катоде из веществ, моделирующих ОЯТ: гадолиния, свинца, оксидов ниобия и титана. Дуговой разряд исследовался в диапазоне токов от 10 до 160 А и напряжений от 3 до 50 В. Измерялся вольтгов эквивалент тепловой мощности, поступающей из плазмы на катод дуги. Спектротрическим методом исследовался компонентный и зарядовый состав образующейся плазмы, зондовыми методами измерялись энергии электронов и средний заряд частиц, вылетающих через отверстие в аноде дуги, а также скорость эрозии катода. На катоде из гадолиния был

найден режим работы, в котором образуется однократно ионизованная плазма высокой степени ионизации (более 90%), при этом энергия электронов составляет порядка 1 эВ. На оксидных катодах выяснено, что исследуемый материал поступает в разрядный промежуток и является компонентом плазмообразующей среды. На катоде из свинца показано, что с увеличением его температуры степень ионизации плазмы уменьшается. Полученные результаты позволили положительно ответить на вопрос о применимости разряда как источника плазмы для задач плазменной сепарации ОЯТ и РАО. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-29-00231).

Литература

1. *Smirnov V.P., Samokhin A.A., Vorona N.A., Gavrikov A.V.* Study of charged particle motion in fields of different configurations for development the concept of plasma separation of spent nuclear fuel // Plasma Phys. Rep. v. 39, n. 6, 2013.p. 456-466.

Study of Vacuum arc with Diffusive Cathode Spot as a Plasma Source for SNF Plasma Reprocessing Technology

R.A. Usmanov, G.D. Liziakin, V.P. Polistchook, I.M. Yartsev

*Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences
125412, Moscow, Izhorskaya st. 13 Bd. 2; e-mail: ravus46@yandex.ru*

Received January 12, 2016

PACS: 52.50.Dg

One of the perspective high-performance plasma sources for the plasma SNF reprocessing technology is a vacuum arc. In this paper, vacuum arc with diffusive spot on heating cathode was studied. Gadolinium, plumbum, niobium and titanium oxides were used as cathode materials modeling SNF. Volt-current characteristics and plasma properties of vacuum arc were studied. Based on the achieved experimental data a positive answer on question of feasibility of this discharge as a source of high-ionized plasma for SNF plasma reprocessing was given.

Keywords: vacuum arc, plasma diagnostics, gadolinium, plumbum, titanium oxide, niobium oxide.

References

1. *Smirnov V.P., Samokhin A.A., Vorona N.A., Gavrikov A.V.* Study of charged particle motion in fields of different configurations for development the concept of plasma separation of spent nuclear fuel // Plasma Phys. Rep. v. 39, n. 6, 2013.p. 456-466.

Общие закономерности в спектрах фундаментальных колебаний флавоноидов

Наталья Васильевна Шмейло, Ольга Михайловна Алыкова,
Владимир Вячеславович Смирнов, Михаил Давыдович Элькин

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

В статье рассмотрены предсказательные возможности квантовомеханических методов молекулярной динамики для интерпретации спектра фундаментальных колебаний флавоноидов и изофлавоноидов. Проведено сравнение результатов модельных расчетов спектра фундаментальных колебаний 1,4-нафтохинона и бензо-гамма-пирона с имеющимися экспериментальными данными. Общей закономерностью колебательных спектров бензо-гамма-пирона, флавона, изофлавоноидов и их гидроксизамещенных соединений является низкая интенсивность большинства полос в диапазоне ниже 1000 см^{-1} .
Ключевые слова: изофлавоноиды, колебательные спектры, спектроскопическая идентификация.

Флавоноиды – полифенильные соединения растительного происхождения, имеющие очень широкий диапазон терапевтического применения; по последним данным – в том числе и противоопухолевое [1].

Для решения задачи предсказательных возможностей квантовомеханических методов молекулярной динамики для интерпретации спектра фундаментальных колебаний флавоноидов и изофлавоноидов в диапазоне $1700\text{-}1000\text{ см}^{-1}$ осуществлен сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных для характеристик полос гармонических колебаний бициклического фрагмента 1,4-нафтохинона, бензо-гамма-пирона, флавона и изофлавоноидов.

Оптимизация геометрии молекул и расчет параметров адиабатического потенциала молекул осуществлялся в базисах $6\text{-}311\text{G}^{**}$, $6\text{-}311\text{+G}^{**}$, $6\text{-}311\text{++G}^{**}$ [2]. Сравнение результатов модельных расчетов спектра фундаментальных колебаний 1,4-нафтохинона и бензо-гамма-пирона с имеющимися данными экспериментальной интерпретации в диапазоне $1700\text{-}750\text{ см}^{-1}$ показало, что полосы низкой интенсивности из рассмотрения исключены, как не представляющие интерес для спектральной идентификации соединений. Имеющиеся хорошее соответствие в частотах гармонических колебаний, отнесенных к валентным связям и валентным углам бициклического фрагмента, следует считать надежным обоснованием достоверности квантовых расчетов. Различие в интенсивности полос следует рассматривать как локальное влияние связи $\text{C}=\text{O}$ на электронную структуру шестичленного цикла [3].

Результат предложенного отнесения частот фундаментальных колебаний для изофлавона является достоверным, а влияние замещения атома водорода в 2- и 3-положениях бензо-гамма-пирона на бензольный фрагмент (что и приводит, соответственно, к молекулам флавона и изофлавона) носит локальный характер. Общей закономерностью колебательных спектров бензо-гамма-пирона, флавона, изофлавона и их гидроксизамещенных соединений является низкая интенсивность большинства полос в диапазоне ниже 1000 см^{-1} .

Литература

1. Тараховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдраимов Б.С., Музафаров Е.Н. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина. Synchronobook, 2013. 310 с.
2. Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B. et al. 2003. Pittsburg PA: Gaussian Inc.
3. Элькин П.М. и др., Сравнительный анализ модельных расчетов частот фундаментальных колебаний гидроксильного фрагмента в флавоноидах. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 2 (157). С. 33-39.

General Regularities in the Spectra of the Fundamental Oscillation of Flavonoids

N.V. Shmeilo, O.M. Alykova V.V. Smirnov, M.D. Elkin

Astrakhan State University
414056, Astrakhan, Tatishcheva 20a;
e-mail: kof@asu.edu.ru

Received January 15, 2016

PACS: 42.60.Fc

The article considers the predictive capabilities of quantum mechanical methods for molecular dynamics interpretation of the spectrum of the fundamental vibrations of the FLA-vonoids and isoflavonoids. The comparison of the results of model calculations of the spectrum of the fundamental vibrations of 1,4-naphthoquinone and benzo-gamma-pyrone with available experimental data. The overall pattern of the vibrational spectra of benzo-gamma-pyrone, flavone, isoflavone and their replacement compounds is the low intensity of most bands in the range below 1000 cm^{-1} .

Keywords: isoflavones, vibrational spectra, spectroscopic identification.

References

1. *Tarakhovskaya, Y.S., Kim Y.A., Abdraimov B.S., Muzafarov E.N.* Flavonoids: biochemistry, Biophysics, medicine. Synchronobook. 2013. 310 p. [in Russian].
2. *Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B. et al.* 2003. Pittsburg PA: Gaussian Inc.
3. *Elkin P.M. etc.*, Comparative analysis of model calculations of the frequency of the fundamental oscillation to-hydroxyl moiety in flavonoids. News of the State Volgograd Technical University. 2015. № 2 (1157). P. 33-39 [in Russian].

Диэлектрические свойства керамических материалов $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ и $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Ni}_y\text{Cu}_y\text{O}_4$

Екатерина Александровна Яковлева¹,
Нина Владимировна Мельникова¹, Татьяна Ивановна Чупахина²,
Надежда Ивановна Кадырова²

¹ Уральский федеральный университет, Институт Естественных Наук
6200836, г. Екатеринбург, пр. Ленина, 51; e-mail: katrina.yakovleva@inbox.ru,
nvm.melnikova@gmail.com, chupakhina@ihim.uran.ru, kadyrova@ihim.uran.ru

² Институт химии твердого тела УрО РАН
620137 г. Екатеринбург, ул. Первомайская, 91

В настоящей работе изучены диэлектрические свойства керамических материалов на основе перовскитоподобных оксидов $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ и $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Ni}_y\text{Cu}_y\text{O}_4$ и проанализирована их связь со структурой и методами синтеза. Для исследования диэлектрических характеристик образцов применен метод импедансной спектроскопии.

Ключевые слова: многофункциональная керамика, синтез, структура, перовскитоподобные оксиды, высокая диэлектрическая проницаемость, импедансная спектроскопия, электрические свойства, диэлектрические свойства, высокие давления.

Основная тенденция в развитии микроэлектроники – миниатюризация и увеличение быстродействия различных устройств. Соединения из системы $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ являются перспективными для элементов конструкций электрохимической и микроэлектронной техники, например, в качестве диэлектрика в конденсаторах, благодаря наличию гигантской диэлектрической проницаемости и ее слабой зависимости от температуры и частоты приложенного электрического поля [1]. Исследование таких материалов открывает перспективы миниатюризации емкостных элементов.

Цель работы – выявление влияния внешних воздействий (концентрации, температуры, частоты электрического поля, давления) на электрические свойства материалов $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ и $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Ni}_y\text{Cu}_y\text{O}_4$ ($x = 0,125, y = 0$; $x = 0,2, y = 0,2$), синтезированных золь-гель методом (с СВС) и с дальнейшим применением термобарической обработки для некоторых образцов – $\text{La}_{1,875}\text{Sr}_{0,125}\text{NiO}_4$ (termobar.) и $\text{La}_{1,8}\text{Sr}_{0,2}\text{Ni}_{0,8}\text{Cu}_{0,2}\text{O}_4$ (termobar.), в условиях постоянных и переменных электрических полей, установление наличия высокой диэлектрической проницаемости этих соединений.

Сложная оксидная фаза $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ и твердые растворы на ее основе принадлежат структуре типа K_2NiF_4 (рис. 1). В кристаллической структуре $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ проводящий слой, состоящий из октаэдров NiO_6 , чередуется с изолирующим слоем

координационных полиэдров AO_6 , и, публикации, связывающие структуру типа K_2NiF_4 с эффектом гигантской диэлектрической проницаемости, сообщают, что искажение координационных полиэдров и их сжатие вдоль оси c вносят вклад в возникновение гигантской диэлектрической проницаемости.

Большой вклад в изучение влияния морфологических характеристик образца на природу эффекта гигантской диэлектрической проницаемости оксидов на основе никелата лантана структуры типа K_2NiF_4 , могут внести исследования образцов, полученных в термобарических условиях [2].

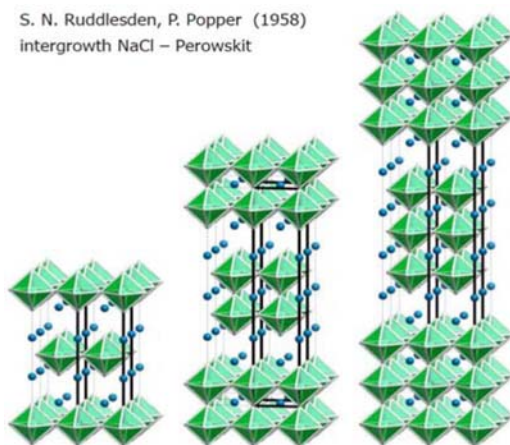


Рисунок 1. Основные типы структуры перовскитоподобных материалов.

Материалы $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ и $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Ni}_y\text{Cu}_y\text{O}_4$ имеют структуру, которую можно рассматривать как совокупность чередующихся проводящих и непроводящих слоев. Наличие высокой диэлектрической проницаемости связывается с локализацией зарядов, которая, в свою очередь, коррелирует с деформацией координационных полиэдров. Корреляция диэлектрических характеристик с искажением координационных полиэдров в сложных оксидах структурного типа K_2NiF_4 обусловлена, в основном, деформацией связей $(\text{La,Sr}) - \text{O}2\text{a}$ и $(\text{La,Sr}) - \text{O}2\text{b}$. Помимо чисто структурного (дипольного) механизма усиление диэлектрических свойств в оксидах может быть обусловлено внешними эффектами, включающими размерный фактор. Для получения керамики необходима либо предварительная механическая активация исходных реагентов, либо использование прекурсорных методик синтеза, сопровождающихся СВС-процессом. В настоящей работе применены новые методы золь-гель синтеза порошков и найдены условия получения керамических материалов $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ и $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Ni}_y\text{Cu}_y\text{O}_4$.

На сегодняшний день наиболее эффективным методом исследования электрических характеристик керамических образцов является импедансная спектроскопия (ИС) [3]. Этот метод исследования представляет собой измерение частотной зависимости полного электрического сопротивления материала, основанный на анализе отклика системы после наложения на нее возмущающего электрического сигнала.

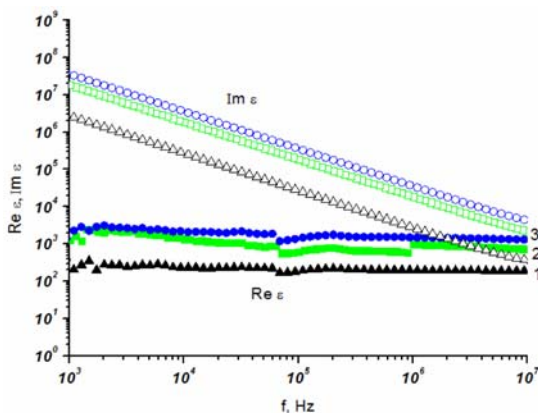


Рисунок 2. Зависимость диэлектрической проницаемости:

1 – $\text{La}_{1,875}\text{Sr}_{0,125}\text{NiO}_4$; 2 – $\text{La}_{1,875}\text{Sr}_{0,125}\text{NiO}_4$ (termobar.); 3 – $\text{La}_{1,8}\text{Sr}_{0,2}\text{Ni}_{0,8}\text{Cu}_{0,2}\text{O}_4$ (termobar.)
от частоты электрического поля.

На рисунке 2 представлены частотные зависимости исследуемых образцов. Для всех образцов характерно постоянство значений диэлектрической проницаемости в области частот от 10^3 до 10^7 Гц. Отсутствие зависимости диэлектрической проницаемости от частоты в широком диапазоне частот позволяет использовать эти материалы в конденсаторах для увеличения их емкости.

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 16-02-00857.

Литература

1. Krohns S., Lunkenheimer P., Kant Ch., Pronin A., Brom H., Nugroho A., Diantoro M., Loidl A. // Appl. Phys.Lett. 2009. Vol. 94. pp. 122903-122906.

2. Чупахина Т.И., Красненко Т.И., Гырдасова О.И., Базуев Г.В. // Известия РАН. Серия физическая. 2012. Т. 76. № 7. С. 859-861.
3. Barsoukov E., Macdonald J.R. Impedance Spectroscopy. Theory, Experiment, and Applications John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005, 595 p.

Dielectric Properties of Ceramic Materials

$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ and $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Ni}_y\text{Cu}_y\text{O}_4$

E. Yakovleva¹, N. Melnikova¹, T. Chupakhina², N. Kadyrova²

¹*Ural Federal University, Institute of Natural Sciences
620083 Ekaterinburg, Lenina ave., 51; e-mail: katrina.yakovleva@inbox.ru,
nvm.melnikova@gmail.com, chupakhina@ihim.uran.ru, kadyrova@ihim.uran.ru*

²*Institute of Solid State Chemistry, RAS Ural Branch
620137, Ekaterinburg, Pervomayskaya st., 91*

Received January 21, 2016

PACS: 77.22.-d

In the present study, we investigated the dielectric properties of ceramic materials based on perovskite oxides $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ и $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Ni}_y\text{Cu}_y\text{O}_4$ and analyzed how structure and methods of synthesis influence on them. To study the dielectric characteristics of the samples the method of impedance spectroscopy was applied.

Keywords: multi-functional ceramics, synthesis, structure, perovskite oxides, high dielectric constant, impedance spectroscopy, electrical properties, dielectric properties, high pressure.

References

1. Krohns S., Lunkenheimer P., Kant Ch., Pronin A., Brom H., Nugroho A., Diantoro M., Loidl A. // Appl. Phys.Lett. 2009. Vol. 94. pp. 122903-122906.
2. Chupakhina T.I., Krasnenko T.I., Girdasova O.I., Bazued G.V. // Izvestiya RAN. Seria phizicheskaya. 2012. Vol. 76. № 7. pp. 859-861 [In Russian].
3. Barsoukov, E., Macdonald J.R. Impedance Spectroscopy. Theory, Experiment, and Applications John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005, 595 p.

Идеальный физический маятник

Натаниль Салимович Якубов, Алексей Владимирович Юрьев

НОУ Лингвистическая школа

Москва, ул. В. Красносельская, д.14, корпус 3; e-mail: NatanilYakubov@mail.ru

Как в школьные, так и в вузовские учебники физики вошли рекомендации по проведению лабораторной работы “Определение ускорения свободного падения при помощи математического маятника”. Согласно этим рекомендациям, нить для маятника может быть практически из любого упругого материала, сам маятник должен быть намного тяжелее нити, лучше всего проводить 10-20 колебаний, а отклонять маятник нужно на $3 - 5 - 7^\circ$. Нами был проведён тщательный эксперимент, на основании которого можно сделать выводы, что не все рекомендации по сборке математического маятника для лабораторной работы одинаково полезны.

Ключевые слова: физический маятник, эксперимент, математический маятник.

- **Форма тела маятника.**

В качестве тел маятника рассматривались: шар, цилиндр, гайка, болт, тело с наименьшим аэродинамическим сопротивлением. Предпочтительнее всего самая симметричная форма – шара; формы со смещённым центром тяжести вызывают вращение маятника, приводящее к увеличению силы сопротивления воздуха за счёт эффекта Магнуса.

- **Материал нити.**

Использовался разный материал нити маятника: хлопчатобумажная нить, шёлковая нить, стальная проволока, капроновая леска, синтетический шнур. Заметим, что форма нити, её упругие качества оказывают заметное влияние на время колебаний маятника. Ни синтетический шнур, ни хлопчатобумажная нить совершенно не подходят для проведения опытов. Такой материал как капрон, приводит к закручиванию то также вносит заметные коррективы в результаты опыта. Наиболее подходящей оказалась стальная проволока.

- **Угол отклонения нити.**

Многочисленные эксперименты показывают, что наиболее точные значения ускорения свободного падения получаются при углах отклонения маятника около 30° .

- **Количество колебаний.**

Самое точное значение ускорения свободного падения получается при 30 полных колебаниях маятника. Как меньшее, так и большее количество колебаний приводит к уменьшению g .

- **Длина нити.**

Как ни парадоксально, но самая оптимальная длина нити маятника – 30 см.

Увеличение длины нити приводило к увеличению определяемой величины, так как часть энергии уходила во внутреннюю энергию нити.

Таким образом, на основании эмпирических данных можно рекомендовать использовать для изготовления идеального физического маятника:

✓ для тела – металлический шар небольшого размера с большой плотностью (скажем, золотой);

✓ для нити – тонкую стальную проволоку или шёлковую нить.

Для более точных расчётов ускорения свободного падения:

– проводить 30 полных колебаний маятника,

– отклонять тело маятника на угол в 30° ,

– длину нити определить в 30 см.

An Ideal Physical Pendulum

N.S. Yakubov, A.V. Yuryev

LEU Language School

Ul. B. Krasnoselskaya, 14, building 3;

e-mail: NatanilYakubov@mail.ru

Received January 25, 2016

PACS: 40

Both in school and in high school physics textbooks included recommendations for laboratory work “Determination of the acceleration of free fall with the help of a mathematical pendulum”. According to these guidelines, the thread for the pendulum can be virtually any flexible material, the pendulum must be very much heavier yarn is best done 10-20 oscillations and deflect the pendulum should be $3 - 5 - 7^\circ$. We have conducted a thorough experiment, based on which we can conclude that not all of the recommendations for the assembly of a simple pendulum for laboratory work are equally useful.

Keywords: physical pendulum, experiment, mathematical pendulum.

мающихся топливными элементам: Лаборатория алюмоводородной энергетики (ОИВТ РАН), Латвийский институт химии и древесины и др. Физико-химический анализ полученного порошка показал рекордные результаты по удельной поверхности – 314 м²/г что вызвало большой интерес к продукту со стороны ряда коммерческих организаций. На рисунке 1 представлена микрофотография полученного порошка. Методика синтеза и анализа пористой структуры порошка подробно описано в работе [1].

Литература

1. *Вервикишко П.С., Вервикишко Д.Е., Школьников Е.И.* Синтез нанодисперсных углеродных порошков методом лазерного испарения графита и исследование их пористой структуры // 2015. Eurasian Union of Scientists. Т. 2. С. 157-160.

Synthesis of Carbon Black from Graphite by Laser Heating

P.S. Vervikishko

*Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences
Izhorskaya st. 13 Bd.2, Moscow, Russia 125412;
e-mail: pvervikishko@gmail.com*

Received November 30, 2015

PACS: 68.03.Fg

Carbon black is widely used in the design of electrochemical devices because of its pore structure, chemical resistance, and high electrical conductivity. The laser heating method was applied to synthesis of large amount of carbon black from isotropic graphite. Carbon black has high purity (greater than 99% of C) and has a high specific surface area. The laser vaporization method allows obtaining a carbon black with a specific surface area greater than 300 m²/g.

Keywords: carbon black, nanopowder, supercapacitors.

References

1. *Vervikishko P.S., Vervikishko D.E., E.I. Shkolnikov.* «Synthesis of carbon nano-dispersed powders by laser vaporization of graphite and the study of their porous structure» // Eurasian Union of Scientists 2015 № 2. P.157-160.

Изучение кинетических характеристик сорбента CO_2 на основе K_2CO_3 . Создание модуля очистки воздуха в замкнутых помещениях

Ольга Николаевна Сивцова

АО «ТИОН Умный Микроклимат», 630090, Новосибирск, Инженерная 20;
e-mail: KOLgaN-01@yandex.ru

В данной работе проведен ряд экспериментов, результаты которых, во-первых, показывают существенную зависимость эффективной емкости композитного сорбента на основе K_2CO_3 от влажности газа, продуваемого через него и, во-вторых, неэффективность его использования при больших начальных концентрациях CO_2 в потоке газа. Также построена численная модель и написана программа для оценочного расчета профиля концентрации CO_2 в слое и динамики концентрации углекислого газа на выходе из реактора.

Ключевые слова: углекислый газ, карбонат калия, алюминий, композитный материал, захват CO_2 , абсорбция, очистка воздуха.

Нормальный уровень CO_2 составляет 300-400 ppm, в то время как в крупных промышленных городах уровень CO_2 уже находится в районе 600-800 ppm. А если учесть, что общий дискомфорт, слабость, головная боль, проблемы с концентрацией внимания у человека появляются начиная с концентрации 1000 ppm (что легко достигается в условиях замкнутого помещения и высокой концентрации CO_2 на улице), становится понятной необходимость в системах очистки воздуха замкнутых помещений от углекислого газа.

Перспективным материалом для данного практического приложения является композитный сорбент на основе карбоната калия и оксида алюминия, разработанный в ИК СО РАН города Новосибирска, который после термической регенерации при 300°C полностью восстанавливает свои сорбционные свойства.

Целью данной работы является разработка модуля для системы очистки воздуха в замкнутых помещениях от углекислого газа на основе вышеописанного сорбента. Для достижения данной цели необходимо, во-первых, экспериментально исследовать кинетику сорбции и десорбции в проточном реакторе, а во-вторых, на основе полученных экспериментальных данных создать компьютерную модель модуля и процессов, происходящих в нем.

На данный момент изучена кинетика сорбции композитного сорбента на основе K_2CO_3 в зависимости от влажности потока воздуха проходящего через него. Из чего сделан вывод, что при концентрации CO_2 в потоке равной 1000 ppm оптимальная

влажность воздуха в потоке составляет 20%, что соответствует максимальной эффективной емкости сорбента равной 4 масс. %. При высоких концентрациях CO_2 от 1 до 5 об. % показано, что даже влажность воздуха в 80% является недостаточной и обеспечивает эффективную емкость сорбента только на уровне долей массового процента. Приведенные результаты ограничивают область и методы использования данного сорбента.

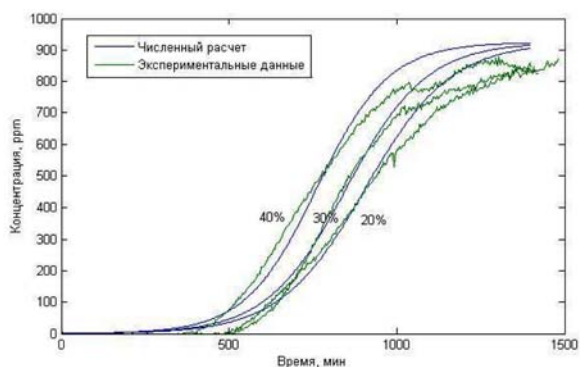


Рисунок 1. Сравнение численного расчета и экспериментальных сорбционных кривых, полученных при влажностях потока 20%, 30% и 40% с эффективными емкостями 3,34, 3,75 и 3,93 масс. % соответственно.

Задача для моделирования ставилась следующим образом: имеется некоторое количество сорбента, через который постоянным непрерывным потоком проходит газ с заданной концентрацией CO_2 ; необходимо определить, как концентрация CO_2 будет меняться на выходе из сорбента с течением времени. Для решения этой задачи были проведены упрощения: рассматривался одномерный квазистационарный вариант. Изменение концентрации CO_2 в газе можно описать следующим фундаментальным уравнением:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla C U - K C,$$

где C – концентрация CO_2 в потоке [ppm], U – скорость потока [см/с], K – константа скорости реакции [с^{-1}].

В первом приближении учитывается линейная зависимость константы скорости реакции от степени заполнения сорбента:

$$K = K_0 \left(\frac{S_{\max} - S}{S_{\max}} \right) = K_0 (1 - \theta),$$

где S_{\max} – максимальная концентрация CO_2 , которую может поглотить слой сорбента, S – концентрация сорбента уже поглощенного к текущему моменту, g – степень заполнения сорбента.

Данная простейшая модель не позволяет точно описать экспериментальные кривые, но дает приближенное, качественное их поведение и применима для практического использования и оценок.

Работа выполняется под научным руководством кандидата физ.-мат. наук С.И. Еременко и кандидата хим. наук Ж.В. Веселовской.

Study of CO_2 Sorption Kinetics on the Composite Sorbent Based on K_2CO_3 . Development of the Cleaning Air Module for Closed Spaces

O.N. Sivtsova

JSC "TION Smart Climate"
630090, Novosibirsk, Engineering Street, 20;
e-mail: KOlgaN-01@yandex.ru

Received January 1, 2016

PACS: 68.43.Mn

In this work, a number of experiments were carried out. Results of these experiments, firstly, show a significant dependence of the effective capacitance of the composite sorbent based on K_2CO_3 from the humidity of the gas flow and, secondly, show that sorbent is ineffective at high initial concentrations of CO_2 in the gas flow. A numerical model and program for calculation of CO_2 concentration profile in the layer of sorbent and dynamics of carbon dioxide concentration at the reactor outlet were written.

Keywords: Carbon dioxide, potassium carbonate, alumina, composite material, CO_2 capture, absorption, the air cleaning.

Постер/Краткое сообщение

УДК 535.417, 535.317, 778.38

Создание учебных 3D лабораторий с использованием голографической пирамиды

Олег Сергеевич Ковальковский, Ольга Михайловна Алыкова,
Владимир Вячеславович Смирнов, Сергей Анатольевич Шнычкин,
Александр Андреевич Колодяжный

Астраханский государственный университет
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а; e-mail: syntrax1@mail.ru

В работе рассмотрена возможность применения голографической пирамиды для объемного отражения визуальной учебной информации. Получаемое изображение является псевдоголографией, которая строится на законах физики и грамотного освещения. Разработаны сценарии создания учебных фильмов и презентаций в 3D.

Ключевые слова: голография, псевдоголография, голографическая пирамида.

Одним из самых важных факторов в нашей жизни является информация. По разным данным, от 70% до более 90% информации человек получает с помощью зрения. Поэтому остро стоит вопрос об изменении способов подачи информации, повышающих ее восприятие. Одной из таких возможностей является объемный способ представления информации. Такой способ имеет существенный ряд преимуществ над привычными для нас. Все эти устройства объединяет один минус – неспособность передать информацию в исходном виде, в том самом колорите и объеме как она была задумана автором. Создание устройства, которое сможет объемно отразить визуальную информацию объемно может существенно улучшить ее восприятие как в научном сегменте, так и в коммерческом, например, в рекламной отрасли. Речь идет о голографической пирамиде. Несмотря на развитость технологий, до голографических изображений в том виде, в котором они по праву назывались бы голографией, уровень еще не дошел. В данном случае – это псевдоголография – изображения, которые строятся на законах физики и грамотного освещения. На пирамиду, созданную из тонкого прозрачного стекла будет подаваться изображение, обработанное с помощью специального программного обеспечения (ПО). В такой пирамиде можно продемонстрировать любой объект, предварительно прорисовав его в 3D.

Приоритетным направлением использования данной технологии представляется следующее. В настоящее время вузы обеспечены демонстрационным и лабораторным оборудованием в достаточном количестве, однако не все опыты могут быть поставлены. Существующие презентации, учебные фильмы, слайды представляют информацию в

2D проекции. Для повышения наглядности, усвояемости материалов студентами и школьниками предполагается использовать 3D проекции на основе голографической пирамиды. Ряд фильмов придется переснять с учетом более широких возможностей для восприятия (воспроизведения) 3D моделей. В результате мы получим функциональную 3D лабораторию по физике, электронике, с голографическими пирамидами различных модификаций, с разработанным ПО. В настоящее время выполнены пилотные модели двух пирамид из разных материалов, которые проходят апробацию в отделе технического обеспечения учебно-научного процесса.

Creating a 3D Educational Laboratories Using Holographic Pyramid

O.S. Koval'kovskii, O.M. Alykova V.V. Smirnov,
S.A. Shnychkin, A.A. Kolodyazhnyi

Astrakhan State University

414056, Astrakhan, Tatishcheva 20a; e-mail: kof@asu.edu.ru

Received January 15, 2016

PACS: 42.60.Fc

The paper considers the possibility of using holographic pyramid for volumetric display visual educational information. The resulting image is pseudo holographic, which is based on the laws of physics and competent coverage. Scenarios creation of educational films and presentations in 3D.

Keywords: holography, pseudo holographic, holographic pyramid.

Исследование термодиффузионных изменений структуры и элементного состава бинарных систем

Сергей Петрович Назаров, Юрий Сергеевич Сорокин

Омский государственный технический университет
644050, Омск, пр. Мира, 11; e-mail: forward92x@rambler.ru

В данной работе приведен обзор результатов экспериментального исследования процесса термодиффузии, происходящего в системе «сталь-покрытие». Представлены режимы напыления нанопокровов на стальную матрицу и параметры термообработки напыленных образцов. В результате получены данные о перераспределении элементов в системе «сталь-покрытие» в ходе процесса термодиффузии.

Ключевые слова: термодиффузия, нанопокров, нанотехнологии.

В настоящее время задача модифицирования существующих материалов является актуальной проблемой для материаловедения. Стали, используемые для изготовления деталей и конструкций, работающих в агрессивных средах, должны обладать уникальными свойствами. К высокоэффективным методам модифицирования материалов можно отнести метод магнетронного напыления. В результате на поверхности напыляемого изделия появляется тонкая пленка из материала мишени. В качестве возможного этапа модифицирования можно предложить процесс термической обработки.

В работе исследовалось влияние термодиффузионных процессов, происходящих в модифицированных напыленных образцах конструкционной стали. В качестве объекта исследования была выбрана сталь 38Х2МЮА. На три образца стали напылили тантал (Ta), молибден (Mo) и вольфрам (W) на установке магнетронного напыления ADVAVAC VSM-200. Рабочие параметры напыления: давление в рабочей камере $P = 3,2 \cdot 10^{-3}$ мбар; сила тока $I = 0,3$ А; среда – аргон; температура нагрева подложки $T = 200$ °С; время напыления $\tau = 270$ мин. В итоге получены образцы стали с толщиной покрытия не менее 300 нм. На следующем этапе была проведена термообработка при следующих параметрах: $T = 1000$ °С; $\tau = 60$ мин; среда охлаждения – воздух.

С помощью энергодисперсионной приставки JED-2300 на базе сканирующего электронного микроскопа JEOL-5700 был определен химический состав образцов после напыления и после термической обработки. Получены количественные характеристики перераспределения элементов матрицы (стали) и покрытия в результате термодиффузионных процессов.

Литература

1. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок/ Берлин Е.В. и др. – М.: Техносфера, 2007. – 176 с.
2. Березин В.М. Методы формирования тонкопленочных структур: учебное пособие/ В.М. Березин, Н.С. Забейворота. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010 – 96 с.

Investigation of Thermal Diffusion Changes in the Structure and Elemental Composition of Binary Systems

S.P. Nazarov, Y.S. Sorokin

Omsk State Technical University

644050, Omsk, Mira, 11;

e-mail: forward92x@rambler.ru

Received December 26, 2015

PACS: 03.75

In this paper, an overview of the results of an experimental study of the thermal diffusion process taking place in the “steel-coating”. Presented modes spraying nano-matrix of the steel and heat treatment parameters sputtered samples. As a result, data were obtained on the redistribution of elements in the system “steel-coating” in the process of thermal diffusion.

Keywords: thermal diffusion, nanocoating nanotechnology.

References [in Russian]

1. Vacuum technology and equipment for coating and etching of thin films / Berlin E.V. et al. – М.: Technosphere, 2007. – 176 p.
2. Berezin V.M. Methods of formation of thin film structures: a tutorial / V.M. Berezin, N.S. Zabeyvorota. – Chelyabinsk: South Ural State University Publishing Center, 2010 – 96 p.

Концепция модернизации измерительного комплекса для оценки фактора мощности и термоэлектрической добротности тонких пленок на подложках

Александр Сергеевич Федотов

Белорусский государственный университет
220030 Беларусь, Минск, пр. Независимости, 2; e-mail: fedotov.alexandro@gmail.com

Предложена концепция модернизации экспериментальной установки для измерения электрофизических свойств объемных материалов, позволяющей реализовать измерения на тонких пленках на подложках.

Ключевые слова: тонкие пленки, электрофизические измерения, термоэлектрические измерения, 3-омега метод.

Предложена концепция модернизации специализированного измерительного комплекса, включающего (А) бескриогенную систему компании Cryogenics Ltd. (Англия) для отдельного изучения транспортных коэффициентов (электропроводности σ , теплопроводности χ , коэффициентов Холла R_H и Зеебека α), в области $2 < T < 310$ К, в магнитных полях B до 8 Тл и (Б) систему для одновременного измерения температурных зависимостей σ , χ , α в диапазоне $300 < T < 700$ К. Система (А) позволяет определять факторы мощности и добротности термоэлектриков на основе отдельного измерения σ , χ , α как на объемных образцах, так и на пленках в свободном состоянии (без подложки). Система (Б) дает возможность измерять σ , χ , α объемных материалов в одном цикле измерения. Обе установки обеспечивают высокую точность измерения и стабилизации T (от 0,005 К до 0,1 К), а также определения σ с точностью не хуже $(0,1 \div 0,5)\%$, χ – не хуже 10% и α – не хуже $(1 \div 10)\%$.

Недостатком указанного комплекса является невозможность измерения χ пленок на подложках, что затрудняет работы по поиску термоэлектрических материалов для изготовления микроминиатюрных генераторов тока и охладителей Пельтье для широкой области температур. Для устранения этого недостатка предложена концепция модернизации обеих установок, предусматривающая возможность одновременного измерения значений α (стационарным методом), σ (4-х зондовым методом) и χ (3- ω методом) на пленке на подложке [1, 2]. Для этого на изучаемую пленку через специальные шаблоны осаждаются структуры (рис. 1), состоящие из датчиков температуры (1,7), измерительных контактов (2,4,5) и миниатюрных нагревательных элементов (3) и (6). Поскольку формирование указанных структур можно провести и на объемных образцах, остается возможность проверки корректности новореализованных методов измерений χ , а путем сопоставления с результатами,

полученными уже существующими методами в системах (А) – (Б).

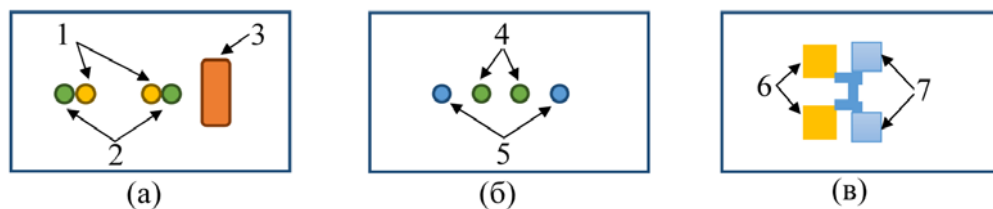


Рисунок 1. Схема модернизации комплекса (масштаб не соблюден): (а) модуль для измерения $\alpha(T)$ с датчиками температуры (1), потенциальными контактами (2) и нагревателем (3); (б) – модуль для измерения $\sigma(T)$ с потенциальными (4) и токовыми (5) контактами; (в) – модуль для измерения $\chi(T)$ 3-омега методом с нагревателем на переменном токе (6) и датчиками температуры (7) из висмута или золота.

Литература

1. Issi J.-P. Thermoelectric properties of the Group V Semimetals. Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano. Ed. by D.M. Rowe. – Boca Raton: CRC Taylor and Francis, 2006.
2. Cahill D.G., Pohl R.O. // Phys. Rev. B. 1987. Vol. 35. P. 4067.

The Concept of Modernization of the Measurement System to Evaluate the Power Factor and Thermoelectric Figure of Merit of Thin Films on Substrates

A.S. Fedotov

Belarusian State University
220030, Minsk, Nezavisimosti ave., 2;
e-mail: fedotov.alexandro@gmail.com

Received 2016.01.25 PACS: 73.50.-h, 73.50.Lw, 72.20.-I, 72.15.-v, 72.20.Pa, 72.15.Eb

We propose the concept of modification of the experimental setup for measuring the electrophysical properties of the bulk materials, which allows realizing measurements on thin films on substrates.

Keywords: thin films, electrophysical measurements, thermoelectrical measurements, 3-omega ($3-\omega$) method.

References

1. *Issi J.-P.* Thermoelectric properties of the Group V Semimetals. Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano. *Ed. by D.M. Rowe.* – Boca Raton: CRC Taylor and Francis, 2006
2. *Cahill D.G., Pohl R.O.* // Phys. Rev. B. 1987. Vol. 35. P. 4067.

1. Лев Юрьевич Агафонов.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

2. Максим Андреевич Султанов.

Пензенский государственный университет.

3. Людмила Александровна Жукас.

Международный Томографический Центр СО РАН.

4. Павел Алексеевич Ивлиев.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.

5. Вячеслав Иванович Молотков.

Российский университет дружбы народов.

6. Дмитрий Николаевич Соколовский.

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

7. Анастасия Андреевна Страхова.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

8. Мацак Алексеевич Аинов.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

9. Николай Сергеевич Акинцов.

Кубанский государственный университет.

10. Никита Алексеевич Богатов.

МГТУ им. Н.Э. Баумана.

11. Анна Руслановна Гильдина.

Самарский Государственный Аэрокосмический Университет.

12. Светлана Сергеевна Гонцова.

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского.

13. Елена Александровна Дикушина.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

14. Александр Валерьевич Жарков.

Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина.

15. Егор Александрович Задеба.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» .

16. Василиса Евгеньевна Зайкова.

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

17. Анастасия Игоревна Замковская.

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского.

18. Алексей Владимирович Клековкин.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН.

19. Анна Александровна Ковьялева.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

20. Олег Иванович Ликий.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Научно-образовательный центр НЕВОД.

21. Бунёджон Абдувахобович Синдоров.

Джизакский государственный педагогический институт им. А. Кадыри.

22. Анна Сергеевна Тимофеева.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина .

23. Алексей Петрович Торбин.

Самарский государственный аэрокосмический университет (СГАУ).

24. Александр Сергеевич Федотов.

Белорусский государственный университет.

25. Александр Михайлович Фролов.

Объединенный Институт Высоких температур РАН.

26. Иван Андреевич Шульженко.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

27. Константин Олегович Юрин.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Научно-образовательный центр НЕВОД.

28. Александр Валерьевич Дуплинский.

Российский квантовый центр (ООО «МЦКТ»).

29. Геннадий Дмитриевич Лизякин.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН).

30. Абдулло Алимахмадович Мирзорахимов.

Уральский федеральный университет.

31. Алёна Викторовна Станчик.

ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению».

32. Юрий Владимирович Тысячных.

Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук.

33. Алида Файзрахмановна Алыкова.

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ.

34. Никита Равильевич Асмедьянов.

Новосибирский государственный университет.

35. Александр Романович Быков.

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина.

36. Ивона Василеска.

Российский университет дружбы народов.

37. Светлана Павловна Иванова.

ООО «Академлаб».

38. Иосиф Эдди Клементе.

Физико-технологический институт РАН (ФТИАН РАН).

39. Никола Маркоски.

Российский университет дружбы народов.

40. Ангелина Родионовна Овчинникова.

Нефтекамский филиал Башкирского государственного университета.

41. Григорий Валерьевич Ракин.

Астраханский госуниверситет.

42. Ильвина Мадисовна Раянова.

Нефтекамский филиал Башкирского государственного университета.

43. Михаил Юрьевич Табаев.

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева.

44. Равиль Анатольевич Усманов.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН).

45. Наталья Васильевна Шмейло.

Астраханский государственный университет.

46. Екатерина Александровна Яковлева.

Уральский федеральный университет, Институт Естественных Наук.

47. Натаниль Салимович Якубов.

НОУ Лингвистическая школа.

48. Павел Сергеевич Вервикишко.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН).

49. Ольга Николаевна Сивцова.

АО «ТИОН Умный Микроклимат».

50. Олег Сергеевич Ковальковский.

Астраханский государственный университет.

51. Александр Андреевич Колодяжный.

Астраханский государственный университет.

52. Сергей Петрович Назаров.

Омский государственный технический университет.

53. Александр Сергеевич Федотов.

Белорусский государственный университет.

54. Сергей Анатольевич Шнычкин.

Астраханский государственный университет.