

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
АДМИНИСТРАЦИЯ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ
КОМИССИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ЮНЕСКО
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**МАТЕРИАЛЫ
XLIX МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

«Студент и научно-технический прогресс»

16–20 апреля 2011 г.

ФИЗИКА

**Новосибирск
2011**

УДК 54
ББК Тя431

Материалы XLIX Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Физика / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2011. 396 с.

Конференция проводится при поддержке Президиума Сибирского отделения Российской Академии наук, Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 11-04-06805-моб_г), Правительства Новосибирской области, Комиссии РФ по делам ЮНЕСКО.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Председатель секции – д-р физ.-мат. наук,
чл.-корр. РАН, проф. А. Е. Бондарь.

Заместитель председателя секции – канд. физ.-мат. наук В. Н. Жилич.

Члены бюро секции – канд. физ.-мат. наук К. Ф. Лысаков,
д-р физ.-мат. наук, проф. В. В. Козлов,
канд. физ.-мат. наук М. А. Юркин,
д-р физ.-мат. наук Л. В. Ильичев,
канд. физ.-мат. наук Е. В. Козырев,
д-р физ.-мат. наук Л. А. Боярский,
д-р физ.-мат. наук К. В. Лотов,
д-р физ.-мат. наук А. Г. Погосов,
канд. физ.-мат. наук В. Б. Голубев,
канд. физ.-мат. наук И. Б. Логашенко,
канд. физ.-мат. наук С. В. Цыбуля,
канд. физ.-мат. наук В. Г. Киселев.

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАШИННАЯ ГРАФИКА

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

А. С. Аракчеев

Новосибирский государственный университет

Разработка эффективных электродных материалов является одной из важных задач альтернативной энергетики. Для совершенствования этих материалов необходимо развивать методы их экспрессной диагностики в соответствии с современными требованиями к автоматизации и точности измерений. Для решения этих задач была разработана система автоматизация электрохимических экспериментальных программ: измерение температурной зависимости сопротивления полупроводников, исследование вольтамперных характеристик в гальваностатическом и потенциостатическом режимах, кондуктометрическое титрование, а так же измерение зависимости проводимости от давления кислорода.

Аппаратное обеспечение комплекса включает температурный регулятор «Термодат» и, специально разработанное, измерительно-питающее устройство «ИПУ-01».

Система автоматизации каждого из этих экспериментов включала модуль логики эксперимента, модуль визуализации получаемых данных, систему сохранения данных в базе данных и систему экспортирования данных в таблицы Microsoft Excel.

Проделанная автоматизация и позволила проводить эксперименты по тестированию электродных материалов и получать ценные научные результаты [1]. Поэтому систему автоматизации решено расширять, включая в неё новые экспериментальные программы: измерение токов термодеполяризации, циклическая вольтамперометрия и исследование зарядно-разрядных зависимостей аккумуляторов, топливных элементов и суперконденсаторов.

Для новых экспериментальных программ требуется развивать аппаратное обеспечение (увеличить диапазон и точность измерения измерительно-питающего устройства) и создать новые модули логики проведения эксперимента, модули визуализации и системы архивирования данных.

1. Yu. S. Okhlupin, N. F. Uvarov, I. N. Skovorodin, P. G. Safonov, D. I. Skovorodin, A. S. Arakcheev, Automated system for measurement of electrochemical characteristics of materials, АСIT (2010), p. 183.

Научный руководитель – И. Н. Сковородин.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЛАЗЕРНОЙ МИКРООБРАБОТКИ

Е. Д. Булушев

Институт автоматики и электротриии СО РАН, г. Новосибирск

В задачах прецизионной лазерной микрообработки необходимо настраивать оборудование, учитывая особенности метода формообразования, физико-химические свойства вещества и погрешности аппаратно-программных средств управления лазерным пучком. В процессе микрообработки в зоне лазерного взаимодействия могут происходить неконтролируемые изменения физико-химических свойств обрабатываемого материала, а линейные и угловые размеры полученных структурных элементов могут отличаться от заданных в САД-модели значений. Для улучшения качественных показателей микрообработки необходимо осуществлять контроль сформированных лазером структурных элементов и на основе анализа полученных данных корректировать режим работы оборудования.

Для быстрого измерения сформированных лазером структурных элементов и детектирования различных ошибок лазерного формообразования были разработаны программные средства анализа изображений зоны лазерной микрообработки, полученных с помощью высокоразрешающей видеокамеры. Обработка изображений включает этап предобработки посредством медианной фильтрации и глобальной пороговой сегментации и этап выделения и формирования границ структурных элементов при помощи одномерной градиентной фильтрации.

Разработанные программные средства были внедрены в систему лазерной микрообработки функционально аналогичную устройству [1]. Регистрация изображений осуществлялась видеокамерой 5 Мпкс с разрешением в плоскости изображения 2 мкм. Экспериментальная проверка показала эффективность разработанного программного обеспечения при настройке оборудования для микрообработки различных материалов (латунь, сталь, алюминий). Точность измерений размеров может быть оценена в 10 мкм; изгибы, расширения и разрывы структурных элементов автоматически детектируются.

1. Goloshevsky N., Aleshin A., Bessmeltsev V. et al., "Precision laser system based on complementary scanning principle for dielectric material microprocessing", Proc. SPIE , 6985, (2008)

Научный руководитель – канд. техн. наук В. П. Бессмельцев.

АЛГОРИТМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ФОТОРЕАЛИСТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ БРИЛЛИАНТА

Н. В. Васильев

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск

Современные компьютерные технологии широко используются в проектировании бриллиантов. Компьютерное моделирование бриллиантов оптимальной конфигурации основанное на улучшение оптических свойств бриллианта является актуальной задачей в алмазно-гранильном производстве. В последнее время в связи с развитием компьютерной техники появилась возможность эффективного моделирования оптических свойств бриллианта. Имея оптические характеристики бриллианта можно создать фотореалистическую визуализацию продукта с заданными параметрами, что позволяет делать предварительный численный эксперимент при проектировании бриллианта.

В настоящей работе создана обобщенная геометрическая модель бриллиантов круглой и фантазийных форм. Для фантазийных форм бриллиантов найдена общая формула, полученная из геометрии круглого бриллианта. Создана модель «алмазной линзы», с помощью которой получают изображения фигур помещенных в алмазную среду. На основе данных о значениях интенсивности отраженного света от каждой грани и павильона и коронки, с учетом преломления, полученных численным методом и с помощью модели «алмазной линзы» разработан алгоритм математической модели фотореалистической визуализации круглого бриллианта. Предварительная реализация алгоритма произведена в пакете MathCad. Проведено сравнение модели с фотореалистической визуализацией бриллиантов полученной с помощью пакета 3D Studio Max.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Б. В. Яковлев.

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВОПРОСАМ БЕЗОПАСНОСТИ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ПЛОТИНЫ ГЭС

Д. Б. Воробьева

Конструкторско-технологический институт
вычислительной техники СО РАН, г. Новосибирск

Эксплуатация гидротехнических сооружений (ГТС) имеет важные социальные, экономические и экологические аспекты. Человеческие жертвы и материальный ущерб при авариях современных плотин сопоставимы с последствиями природных катаклизмов. Оценка состояния ГТС является достаточно сложной и многокритериальной задачей не только с технической, но и с организационной стороны.

Предлагается система, предназначенная для исследования и прогнозирования поведения плотины под действием различных нагрузок, в том числе и землетрясений, анализа технического состояния плотины и поддержки принятия оперативных решений с целью обеспечения безопасности и предотвращения аварийных ситуаций.

Основным элементом разрабатываемой системы является трехмерная расчетная модель тела плотины ГЭС, отражающая его текущее состояние. С помощью модели осуществляется статический и динамический анализ ГТС, вычисляется напряженно-деформированное состояние, перемещения, собственные частоты и формы колебаний и др. В качестве численного метода используется широко известный метод конечных элементов.

На основе сравнения данных натурных наблюдений, измеряемых на плотине, и расчетных данных при сходных внешних воздействиях происходит идентификация модели. Расчет позволяет выяснить, соответствуют ли измеренные параметры состояния плотины внешним условиям, или в сооружении возникли изменения, нарушения.

По результатам анализа пользователь должен получить информацию о реакции сооружения на заданные нагрузки, с указанием предполагаемых мест дефектов, оценку состояния объекта с рекомендациями по дальнейшему детальному обследованию или восстановлению плотины.

Анализ поведения сооружения при различных, в том числе и маловероятных сочетаниях нагрузок, позволит выявить его запас прочности и принимать своевременные обоснованные меры безопасности.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Е. П. Золотухин.

РАЗРАБОТКА ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА НА БАЗЕ СИЛОВОГО ГИРОСКОПА С ПРИВОДОМ ВРАЩЕНИЯ РАМОК

А. С. Воронова

Томский политехнический университет

Исполнительный орган (ИО) космического аппарата - многомерная механическая система, сложное электромеханическое устройство, которое сложно разработать без использования САПР.

ИО на базе силового гироскопа с приводом вращения рамок (ПВР) с заданными характеристиками (кинетический момент $H = 100$ Нмс, время разгона – максимум 1 час, ресурс – минимум 10 лет, мощность максимум 20 Вт, собственная частота 150 Гц, угловая скорость 10000 об/мин, наружный радиус маховика 0,15 м) проектируется с использованием разработанной ранее САПР на базе комплекса T-FLEX, которая состоит из нескольких подсистем.

В подсистеме создания 2D чертежей и 3D моделей, основанной на модуле T-Flex CAD 2D, создаются чертежи деталей, сборочные чертежи, спецификации. В T-Flex CAD 3D создается трехмерная модель сборочной конструкции ИО.

В подсистеме расчета эксплуатационных характеристик, базирующейся на модуле T-Flex CAD 2D/3D, рассчитываются необходимые эксплуатационные характеристики, например, автоматически вычисляется масса маховика.

В подсистеме прочностного анализа, основанной на модуле T-Flex Анализ, разрабатываемая конструкция исследуется на прочность, рассчитываются резонансные частоты, при необходимости проводится анализ устойчивости и тепловой анализ.

В подсистеме выпуска конструкторской документации (КД), базирующейся на модуле T-Flex 2D/3D, на основе 3D сборки получаем как сборочные чертежи и спецификации, так и чертежи отдельных деталей. После формирования комплекта КД происходит передача чертежей и 3D моделей деталей в подсистему технологической подготовки, состоящую из двух модулей: T-Flex Технология и T-Flex ЧПУ. В модуле T-Flex Технология составляется техпроцесс механической обработки деталей, техпроцесс сборочных операций, создаются маршрутные и операционные карты. В модуле T-Flex ЧПУ на основе 2D чертежей и 3D моделей деталей автоматически генерируются управляющие программы механической обработки деталей на станках с ЧПУ.

Таким образом, САПР решает ключевую задачу автоматизации – повышение эффективности проектирования ИО.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Т. Г. Костюченко.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ СЧЕТОВ НА ОПЛАТУ ЛЕКАРСТВ ДЛЯ СТРАХОВЫХ КОМПАНИЙ

А. В. Гордеев

Новосибирский государственный университет

Современное медицинское обслуживание подразумевает очень тесное взаимодействие медицинских учреждений со страховыми компаниями. Это особенно характерно для медицины в США. Одной из важных составляющих частей этого взаимодействия является процесс обработки счетов на оплату лекарств. В данном процессе страховые компании связаны двухсторонним потоком данных с системой по расчету и распределению счетов на лекарства. Эта система является непосредственно ответственной за разработку, поддержку и выполнение свода правил, согласно которому происходит расчет выплат за лекарства. Алгоритмы этого расчета могут быть довольно сложными и зависят от множества факторов, таких как федеральные законы, законы конкретного штата, типа медицинского случая и многих других.

Роль сотрудников страховой компании в данном процессе заключается в распределении расходов между страховой компанией и застрахованным лицом. Основные задачи, стоящие перед сотрудниками компаний:

- создание и редактирование страховых форм,
- проверка корректности информации о страховых случаях,
- запуск различных алгоритмов вычисления страховых выплат,
- проверка полученных расчетных счетов.

Целью данной работы является разработка программной системы для страховых компаний, позволяющей автоматизировать обработку счетов на оплату лекарств. Эта система должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- поддержка большого объема информации;
- наличие удобного АРМ оператора, позволяющего эффективно обрабатывать большое количество разной информации;
- реализация различных алгоритмов импорта, экспорта данных и протоколов взаимодействия;
- поддержка автоматических и полуавтоматических правил обработки счетов;
- предоставление статистических данных об осуществлённых операциях.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. В. Басов.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ПО ДАННЫМ ДЗЗ

А. А. Дербенёв

Институт автоматики и электротриии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Поиск объектов искусственного происхождения по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) призван помогать в решении множества задач, относящихся к проблемам описания и предсказания наземных процессов различного рода. Решение таких комплексных задач предусматривает совместный анализ данных различного формата: многоспектральных разномасштабных изображений, предварительной информации о наблюдаемой сцене различного типа, знаний общего плана о наблюдаемых объектах и т.п.

При разработке алгоритмов поиска искусственных объектов возникает проблема варьирования параметров исследуемого метода и количественной оценки его эффективности. Для автоматизации процесса исследования разработан программный инструментарий, обеспечивающий возможность конструирования, настройки и модификации алгоритмов посредством использования как набора заранее реализованных базовых функций обработки, так и составных алгоритмов, задание оператором экспертных оценок, расчет ошибок первого и второго рода для результатов обработки и оценку достоверности обнаружения различными алгоритмами.

С помощью разработанного программного обеспечения получены количественные оценки эффективности классификации как с использованием только спектральных характеристик, так и с применением пространственных признаков. Показано, что переход от изображений с низким пространственным разрешением к данным с высоким разрешением характеризуется различным относительным изменением уровня отклика используемых для обнаружения фильтров. Определены наиболее оптимальные параметры для работы различных алгоритмов и выделена роль отдельных алгоритмических блоков путём анализа динамики достоверности обнаружения, демонстрируемой различными вариантами исследуемых методов. Показано, что методы обнаружения, использующие пространственные характеристики, позволяют учитывать специфику изображений с высоким пространственным разрешением и получать более высокую достоверность обнаружения.

Научный руководитель – канд. техн. наук С. М. Борзов.

УСТОЙЧИВЫЕ К ИСКАЖЕНИЯМ АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ШТРИХ-КОДА EAN-13

Е. Г. Козлов

Новосибирский государственный университет

В последнее время значительно вырос интерес в считывании штрих-кодов с помощью мобильных телефонов со встроенными камерами. Поэтому в последние годы ведется работа по созданию надежных алгоритмов распознавания штрих-кодов на изображениях. Сложность таких алгоритмов может быть обусловлена дефокусировкой оптической системы, низким качеством изображений и условиями съемки: поверхность товара, на которую нанесен штрих-код, может быть наклонена, изогнута или неравномерно освещена.

Цель работы заключалась в разработке алгоритма распознавания одного из самых распространенных штрих-кодов EAN-13, который мог быть реализованным на мобильных телефонах среднего класса и учитывать вышеперечисленные искажения.

Анализ ряда наиболее известных алгоритмов распознавания штрих-кода EAN-13 показал, что все они не в полной мере отвечают представленным требованиям. Поэтому в процессе работы был разработан новый эффективный алгоритм распознавания, использующий важную особенность штрих-кода EAN-13: положения границ полос задать с помощью вектора целых чисел \mathcal{P} . Суть алгоритма заключается в итеративной минимизации функционала J , описывающего приближение измеренного дискретного сигнала \tilde{g} его моделью $g(\omega)$:

$$J = \sum_i (\tilde{g}_i - g_i(\omega))^2,$$

где ω – неизвестные параметры, включающие в себя вектор \mathcal{P} , а также величины, определяющие абсолютное положение, масштаб, яркость и контраст штрих-кода. Смысл каждой итерации алгоритма состоит в вычислении новых оценок параметров ω , зная их значения на предыдущем шаге. Таким образом, алгоритм вычисляет значения \mathcal{P} и в конце производит декодирование штрих-кода.

Испытания показали, что реализованный алгоритм способен эффективно распознавать штрих-коды на изображениях, полученных в условиях вышеперечисленных искажений. Распознавание на мобильном телефоне среднего класса занимает от 0.1 до 2 секунд в зависимости от качества снимка штрих-кода и разрешения изображения, что позволяет в случае неуспеха быстро повторить попытку распознавания.

Научный руководитель – канд. техн. наук В. П. Косых.

ДИСТАНЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СТАТОРНОЙ ОБМОТКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Е. А. Мухин

Мурманский государственный технический университет

Для обеспечения безопасной эксплуатации асинхронных двигателей на объектах морского транспорта, перспективным является контроль их технического состояния посредством определения температуры статорной обмотки методом тепловизионной диагностики. Особенностью являются разнообразие форм и типоразмеров конструкций машин. По мере разогрева поверхности станины за счет радиального распространения теплового потока через объем сердечника статора, станину, ребра в окружающий воздух, происходит фиксация термограмм оребренной поверхности. На основе обработки термограмм получены гистограммы распределения температуры поверхности ребер в локальных точках поверхности в различное время испытаний. Тепловой поток оценивается путём анализа разности температур у основания и окончания ребра. Далее решается обратная задача теплового расчета электрической машины с учетом строения и режимов ее эксплуатации. В результате расчёта определяется плотность теплового потока, идущего от сердечника статора, линейные термические сопротивления основания станины, воздушного зазора, спинки сердечника статора. На основе полученных данных рассчитывается превышение температуры на каждом слое и определяется температура поверхности обмотки в пазу статора. Расчёт температуры в объеме обмотки определяется идентично методике, описанной в [2].

Результаты применения данной методики для определения температуры обмоток статора двигателя марки АИР80А4У3 показали, что расчетное и измеренное значение температуры в области максимальных тепловых потоков отличаются с точность до 5 %. Достоинством применяемой методики определения теплового состояния электрической машины с помощью тепловизора является визуальное локализация участков перегрева поверхности, обусловленных особенностями распространения тепла из объема машины от нагретых обмоток.

1. Л. И. Ройзен, И. Н. Дулькин Тепловой расчет оребренных поверхностей / под ред. В.Г. Фастовского, М.: Энергия, 1977. – 256 с.

2. Власов А. Б., Мухин Е. А. Применение тепловизионной диагностики для оценки теплового состояния электрооборудования и температуры обмотки судовых электродвигателей/ Вестник МГТУ, том 13, №4/2, 2010, 937-941.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. А. Б. Власов.

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ НЕУПРУГИХ ТЕЛ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

И. А. Новиков

Институт автоматики и электротриии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Приложения виртуальной реальности — компьютерные игры и обучающие тренажёры — становятся чрезвычайно распространёнными в наши дни. Для того, чтобы создать иллюзию присутствия у пользователя, необходимо как генерировать фотореалистичные изображения, так и правдоподобно моделировать взаимодействия объектов виртуального мира: их движение, столкновения, деформации и разрушение.

Существуют различные подходы к моделированию деформаций в реальном времени. В простейшем случае используются предварительно рассчитанные деформированные состояния для некоторого конечного набора возможных ударов по объекту, одно из которых (или интерполяция между несколькими ближайшими) выбирается в зависимости от того, к какому из этих ударов ближе всего произошедший. Однако, при ударе, отличающемся от заранее рассчитанного, или в случае сложной комбинации ударов моделируемые деформации будут выглядеть нереалистично [1]. Напротив, использование метода конечных элементов позволяет точно моделировать процесс деформации, но даже в упрощенном случае количество вершин, задающих моделируемый объект не может превышать нескольких тысяч [2].

В работе применяется геометрический метод подбора формы [3], который не моделирует напрямую физические законы, а накладывает физически мотивированные ограничения (сохранение формы, объёма, импульса и т.п.) на независимое движение набора точек, представляющего объект. Предлагаются адаптации этого алгоритма для моделирования неупругих тел с жёсткими частями, а так же способ обнаружения сильных локальных деформаций. Отдельное внимание в работе уделено проектированию архитектуры системы, позволяющей легко интегрировать её в уже существующее приложение виртуальной реальности.

1. J. Chang, J. Zhang, R. Zia, Modelling deformations in car crash animation, The Visual Computer, 2009.

2. M. Mueller, J. Dorsey, L. McMillan et al., Stable real-time deformations, SIGGRAPH Proceedings, 2002

3. M. Mueller, B. Heidelberger, M. Teschner, M. Gross, Meshless deformations based on shape matching, ACM SIGGRAPH 2005 Papers

Научный руководитель — Д. А. Гладкий.

ПРОГРАММА АНАЛИЗА КИНЕТИКИ АТОМНО-ЭМИССИОННЫХ СПЕКТРОВ

Б. А. Сазонов

Институт автоматики и электрметрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Одним из наиболее перспективных методов элементного анализа порошковых материалов является сцинтилляционный атомно-эмиссионный спектральный анализ. Он позволяет снизить пределы обнаружения элементов в сравнении с классическим атомно-эмиссионным анализом в 100 раз, что важно, например, при поиске месторождений полезных ископаемых. Метод основан на использовании последовательности из нескольких десятков тысяч атомно-эмиссионных спектров, зарегистрированных с временем экспозиции 1 мс в процессе поступления порошковой пробы в плазму разряда. При поступлении частицы, содержащей, например, золото, в плазму происходит вспышка (сцинтилляция) интенсивности линий золота длительностью около 10 мс.

Важной задачей при обработке последовательности атомно-эмиссионных спектров во времени является повышение отношения сигнал-шум в зависимости интенсивности аналитической линии определяемого элемента от времени. С целью повышения отношения сигнал-шум был разработан алгоритм обработки последовательности спектров [1]. Однако, при использовании алгоритма было замечено, что на некоторых наборах данных, алгоритм работает некорректно.

Целью работы является разработка программного обеспечения для визуализации работы алгоритма обработки последовательности спектров по шагам с представлением статистической информации (гистограмма, среднеквадратичное отклонение), а также проведение анализа его некорректной работы.

Найдены несколько сценариев работы алгоритма, при которых алгоритм выдает некорректные результаты. Например, при низкой интенсивности горения постоянной линии, алгоритм не определяет её как постоянную, что приводит к значительной ошибке при вычислении фона.

1. Косых В. П., Шаталов И. Г., Лабусов В. А., Неклюдов О. А. Методы обработки кинетики спектров для снижения пределов обнаружения элементов. Материалы X Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (Новосибирск, Россия, 4–7 августа 2009). Новосибирск, изд. СО РАН, 2009. С. 34–39.

Научный руководитель – д-р техн. наук В. А. Лабусов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ЗАХВАТА ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ

А. В. Соколов

Ecole Polytechnique, г. Париж, Франция
Новосибирский государственный университет
Институт автоматизации и электротехники СО РАН

Вопрос автоматического распознавания лиц активно изучался на протяжении нескольких лет ведущими исследователями по всему миру. Такой интерес обусловлен широким спектром возможных применений этой технологии, например, в системах безопасности и контроля доступа.

В настоящей работе рассматривается метод трехмерного распознавания лиц со стереоскопическим захватом изображения; выбор данного подхода обусловлен его существенными преимуществами. Так, в отличие от активных сканирующих систем со структурированной подсветкой, разработанный комплекс является пассивным, благодаря чему спектр его применения остается более широким. Использование нескольких камер позволяет добиться повышенной (по сравнению с однокамерными системами) устойчивости распознавания при изменении параметров съемки (изменение положения головы, освещения) [1].

В ходе исследований были проанализированы существующие алгоритмы [2] получения объемных моделей на основе стереофотографий. Использование улучшенной версии наиболее оптимального из них позволило получать результаты с пространственным разрешением в 0.5 мм, что превосходит аналогичный параметр всех известных нам аналогов. Кроме того, была существенно доработана процедура распознавания трехмерных структур на основе итеративного алгоритма поиска ближайшей точки [3]. Большое внимание было уделено вопросам надежности. Разработанный комплекс представляет собой законченное решение, позволяющее осуществлять эффективное распознавание лиц с заданным уровнем вероятности отсутствия ложных срабатываний.

1. Uchida, Aoki, “3D Face Recognition Using Passive Stereo Vision”, Image Processing, 2005. ICIIP 2005. IEEE International Conference

2. Scharstein, Szeliski, “A Taxonomy and Evaluation of Two-Frame Stereo Correspondence”, International journal of computer vision, 7-42

3. D. Chetverikov, D. Stepanov, P. Krsek. “Robust Euclidean alignment of 3D point sets: the trimmed iterative closest point algorithm”, Image Vision Comput., 23(3):299–309, 2005.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. М. М. Лаврентьев, И. Г. Таранцев, Г. Ле Беснере.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РОСТА МОНОКРИСТАЛЛОВ МЕТОДОМ ЧОХРАЛЬСКОГО НА ФИЗИЧЕСКОМ ИМИТАТОРЕ

Т. Н. Степанова

Новосибирский государственный университет
Институт автоматике и электротриетрии СО РАН

Полупроводниковый монокристаллический кремний – это основной материал для высокотехнологических устройств. Отсутствие масштабной инвариантности, большая неопределенность математических моделей и постоянный рост требований к качеству монокристаллов приводит к тому, что экспериментальное исследование становится неотъемлемой частью серийного производства больших монокристаллов кремния.

Для получения больших монокристаллов преимущественно используется метод вытягивания из расплава (метод Чохральского). Существует удобный и дешевый способ экспериментального исследования процесса Чохральского – имитационное моделирование. Идея заключается в использовании вместо кремния его органического аналога – физический имитатор. Такой подход снижает энергетические затраты и стоимость расходных материалов, а также позволяет проводить исследования, невозможные в случае жидкого кремния из-за его инертности и непрозрачности.

В институте теплофизики СО РАН собрана тестовая установка для изучения процесса Чохральского на физическом имитаторе. В ходе эксперимента конфигурация системы и информация с температурных и других датчиков записывается в файл архива.

Целью данной работы является разработка программного обеспечения, автоматизирующего обработку результатов имитационного моделирования процесса Чохральского. Были поставлены следующие задачи: проанализировать специфику установки и формат записи данных, сформулировать требования и реализовать программное обеспечение.

Одним из важнейших этапов обработки архива данных является автоматическое приведение временных меток от разных источников синхронизации к единой системе отсчета.

С точки зрения пользователя программы, экспериментатора, важно получить удобное графическое представление статистических характеристик процесса и качественное представление в виде изотерм, а также экспорт данных в стандартный формат.

Таким образом, созданное программное обеспечение служит инструментом быстрой автоматической обработки результатов эксперимента и наглядного представления результатов.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент В. Е. Зюбин.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Д. А. Татарников

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

За последние годы компьютерное моделирование стало одним из важнейших инструментов в исследовании и предсказании физических и химических процессов. Компьютерное моделирование означает математическое предсказание каких-либо процессов на современных компьютерных системах. Более того это позволяет избежать дорогих экспериментальных затрат. Таким образом, компьютерные эксперименты действуют как связь между лабораторными экспериментами и физико-математической теорией.

Ключевым фактором в моделировании методом молекулярной динамики является выбор межатомного потенциала взаимодействия. В данной работе используется многоатомный потенциал Бреннера, для получения более реалистичных результатов. В дополнение к потенциалу Бреннера был реализован потенциал Леннард-Джонса, чтобы учесть Ван-дер-Ваальсовое взаимодействие. Далее классические уравнения движения Ньютона разрешаются для системы атомов как обратный градиент от потенциала взаимодействия и интегрируются, используя различные методы, в частности используется метод Верле. В итоге мы получаем различные параметры системы, такие как энергия, температура, расположение атомов и пр. на каждом дискретном шаге. Также в ходе вычисления применяются периодические граничные условия, различные начальные условия для системы, такие как температура, время, объем, расположение и скорости атомов, а также используется температурный контроль.

В данной работе разрабатываются программы для расчета поведения системы атомов в каждый момент времени и для визуализации этих данных, исследуются термодинамические свойства и условия образования различных углеродных наноструктур, также пытаемся предсказать существование новых материалов. К настоящему моменту имеются две отдельные программы: одна для вычислений, а другая для визуализации этих вычислений. Также продолжается сбор статистических данных, исследование поведения системы при разнообразных начальных условиях, планируется параллелизация алгоритмов с использованием MPI, чтобы работать с большим количеством атомов с меньшими временными затратами.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Ю. В. Данейкин.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОСТРОЕНИЯ КАБЕЛЕНЕСУЩИХ СИСТЕМ

Е. Б. Хван

Институт автоматике и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

В современном мире инженерные сети занимают одно из важнейших мест в обустройстве благополучия людей. В каждом здании находится множество систем снабжения и коммуникаций таких, как: внутренние системы электроснабжения, системы наружного освещения, кабельные сети, сети пожарной и охранной сигнализаций, системы видеонаблюдения и оповещения, коммуникационные сети и т.д. Для установки и развертки всех этих сложных и порой громоздких сетей требуются несущие системы.

Задачей дипломной работы является создание программного комплекса для автоматизации формирования кабеленесущих систем. У производителей оборудования для организации и построения кабеленесущих систем существует огромное количество разнообразных конструкций, соединительных элементов и прочих комплектующих. При создании систем возникает множество задач по комбинации и конфигурации составляющих, дальнейшем сохранении разработанных конфигураций, а также расчете необходимого количества комплектующих. Не имея специального программного обеспечения для автоматизированного формирования, создателю систем приходится вручную выбирать все комплектующие, искать подходящие друг к другу части по огромным каталогам и каким-либо образом хранить разработанные конфигурации. Данная задача является особенно актуальной для построения сетей в крупных промышленных зданиях и не имеет существующих готовых решений.

Программный комплекс должен предоставлять производителю удобный способ для сохранения баз комплектующих, а также переноса всех существующих данных; возможности по составлению конфигураций сети с автоматическим выбором подходящих комплектующих к уже добавленным в конфигурацию, с учетом только их серии и возможностью произвольного выбора размера, возможность сохранения, последующего редактирования и использования уже созданных конфигураций; возможность автоматической генерации спецификаций выбранной конфигурации по заданному шаблону, с учетом количества всех составляющих, а также возможностью дальнейшего сохранения спецификаций в различные форматы; автоматический расчет прочности конструкций и заполнения объемов по указанной конфигурации кабелей.

Научный руководитель – К. Ю. Мокин.

РАЗВИТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ MICRO-PIV И MICRO-LIF ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ТЕЧЕНИЯ И ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В МИКРОКАНАЛАХ

А. А. Ягодницына

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время микроканальные системы, в том числе и микромиксеры, используются в фармацевтической и химической промышленности для работы с малыми объемами реагентов. Применение современных экспериментальных методов, таких как micro-PIV (метод измерения полей скорости с микронным разрешением) и micro-LIF (метод измерения полей концентраций), для исследования процессов смешения в микроканалах позволяет получить наиболее полную картину в области исследования микромиксеров, а также позволяет верифицировать данные численного моделирования.

Новизной предлагаемых подходов является комбинация методов для изучения гидродинамики в микроканалах.

Целью данной работы является развитие методик micro-PIV [1] и micro-LIF [2]. В работе подготовлен экспериментальный стенд для проведения micro-PIV и micro-LIF измерений, реализован и протестирован алгоритм для расчета средних полей скорости в микроканалах. Разработана методика micro-LIF для измерения полей концентраций и исследования процессов смешения в микроканалах на основе флуорофора Rhodamine 6G, реализован алгоритм для расчета эффективности перемешивания по измеренным полям концентраций. С использованием разработанных методик измерены поля скорости в нескольких сечениях микроканала Т-формы при различных числах Рейнольдса ($Re = 1-300$). Также измерены поля концентраций и эффективность смешения в Т-канале в различных режимах течения. Полученные данные позволят провести дальнейшие исследования интенсификации процессов смешения в Т-миксерах.

1. J. G. Santiago, S. T. Wereley, C. D. Meinhart, A particle image Velocimetry system for microfluidics, *Exp. Fluids*. Vol. 25, Pp. 316–319. 1998.

2. R. Matsumoto, H. Farangis Zadeh, P. Ehrhard, Quantitative measurement of depth-averaged concentration fields in microchannels by means of fluorescence intensity method, *Exp. Fluids*. Vol. 39, Pp. 722–729. 2005.

Научный руководитель – канд. физ.-мат.наук, ст. науч. сотр.
А. В. Бильский.

АЭРОФИЗИКА И НЕРАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ

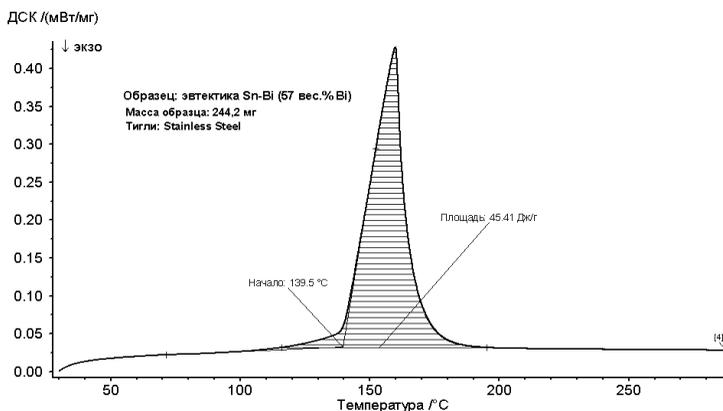
ЭНТАЛЬПИЯ ПЛАВЛЕНИЯ ЛЕГКОПЛАВКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ IN, SN, BI, PB

А. Ш. Агажанов

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) [1] определены температура и энтальпия плавления двухкомпонентных эвтектических сплавов на основе In, Sn, Bi и Pb. Исследовались сплавы олово – висмут (57 вес. % Bi), олово – индий (52 вес. % In) и висмут – свинец (44,5 вес. % Pb). Измерения проводились в режиме нагрева со скоростью 9 К/мин на тиглях из нержавеющей стали и на платиновых тиглях с корундовыми вкладышами.

На ДСК кривой процесс плавления сплава характеризуется образованием пика (см. рисунок). Температура плавления соответствует температуре начала пика, а энтальпия плавления образца определяется площадью под пиком.



Эксперименты показали хорошую воспроизводимость результатов. Установлено, что для исследованных сплавов экспериментальные данные по энтальпии плавления (ΔH_f) существенно отличаются от ΔH_f , рассчитанной по правилу аддитивности.

1. Емелина А. Л. Дифференциальная сканирующая калориметрия // Лаборатория химического факультета МГУ. – 2009.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. В. Станкус.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ В МОДЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ

Е. С. Анохина

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

Закрученные потоки широко используются в технических приложениях. Полезные свойства закрутки находят применение в камерах сгорания, топках, газовых и жидкостных сепараторах и т.д. [1] Закрученные потоки имеют довольно сложные структуры течения, и, не смотря на большое внимание к этому вопросу со стороны исследователей, тема остаётся довольно актуальной.

В институте теплофизики СО РАН г. Новосибирска в 1992–1999 годы, группой учёных был впервые экспериментально обнаружен и описан ряд новых вихревых структур [2,3] в модельной вихревой камере. В настоящее время в литературе не встречается экспериментальное или численное описание подобных структур. Формирование вихревых структур влияет на характеристики установок.

Данная работа направлена на численное моделирование стационарных вихревых структур в модельной вихревой камере, геометрически совпадающей с экспериментальной установкой. В коммерческом пакете STAR-CCM+ были подобраны наиболее подходящие модели для подобных задач. В результате получены структуры, качественно совпадающие с экспериментальными.

Дальнейшее развитие направлено на получение ряда количественных данных: полей скоростей, давления, а также сопоставление численных результатов с экспериментальными данными и теоретическими моделями.

Работа была выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

1. Гупта А., Лили Д., Сайред Н. Закрученные потоки // М.: Мир, 1987. 590 с.

2. Алексеенко С. В., Куйбин П. А., Окулов В. Л. Введение в теорию концентрированных вихрей // Монография, 2003, с. 420-424.

3. Алексеенко С. В., Окулов В. Л. Закрученные потоки в технических приложениях (обзор) // Теплофизика и аэромеханика. 1996. Т. 3, № 2. С. 101-138.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. И. Шторк.

РАВНОВЕСНЫЕ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ И УДАРНЫЕ АДИАБАТЫ ГАЗОВ С УЧЕТОМ ДИССОЦИИИ И ИОНИЗАЦИИ

Т. А. Бондаренко
Новосибирский государственный университет

При распространении сильных ударных волн в газе, температура газа за фронтом сильно повышается. Происходящие при этом процессы диссоциации и ионизации меняют химический состав и усложняют уравнения состояния.

Для построения уравнения состояния газовой смеси с учетом меняющейся теплоемкости компонент, процессов диссоциации и ионизации был разработан следующий метод, основанный на использовании затабулированных значений констант химической реакции и энтальпий компонент газовой смеси [1].

Предполагая химическое равновесие между всеми образующимися компонентами газовой смеси, при заданном брутто составе, фиксированной плотности и температуре определялись концентрации всех компонент. При этом численно решалась система нелинейных уравнений.

По известному химическому составу, давление вычислялось в предположении модели идеального газа, как сумма парциальных давлений каждой компоненты смеси. Энтальпия и внутренняя энергия газа определялись как сумма энтальпий отдельных составляющих, которые, в свою очередь, тоже брались из таблицы.

Используя эти уравнения вместе с уравнениями сохранения из механики, строились ударные адиабаты газов в широком диапазоне интенсивностей. При этом температура газа за фронтов возрастала до 20000 °К, а скорость распространения волны около 15 км/с. В работе приведены расчеты ударных адиабат нескольких газов. Для смеси газов, соответствующих атмосфере, приводится сравнение параметров ударной волны с имеющимися литературными данными.

1. Глушко В. П. Термодинамические свойства индивидуальных веществ // «Наука». 1978.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Э. Р. Прууэл.

УСТОЙЧИВОСТЬ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ, РАСПРОСТРАНЯЮЩЕЙСЯ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ КАНАЛЕ

С. П. Борисов

Институт теоретической и прикладной механики

им. С. А. Христиановича СО РАН

Новосибирский государственный университет

Практические применения детонационных волн (ДВ) традиционно связаны с взрывами и взрывобезопасностью. В последние годы вызывает большой интерес их потенциальное использование для разработки новых типов двигателей, включая возможность создания микродвигателей.

Важной особенностью ДВ является неустойчивость их фронта. Применение метода нормальных мод [1], вместо использовавшегося в классических работах [2] преобразования Лапласа, позволило существенно упростить линейный анализ, и в настоящее время неустойчивость плоских ДВ к двумерным возмущениям достаточно хорошо изучена для простейшей модели химической кинетики с одной необратимой реакцией.

В настоящей работе данный подход использован для изучения неустойчивости ДВ в прямоугольном канале. Анализируются возможные трехмерные моды неустойчивости, делается попытка связать предсказания линейной теории с характеристиками развитой ячейкой структуры ДВ в канале, проводятся сравнения с экспериментальными наблюдениями [3]. Показано, что линейная теория устойчивости дает определенные предсказания относительно минимальной ширины канала, в котором могут существовать детонационные ячейки, числе ячеек, возникающих при заданной ширине канала, структуре ДВ, распространяющихся в каналах, с большим отношением ширины к высоте.

Исследование дополняется прямым численным моделированием, проведенном путем решения полных нестационарных уравнений Эйлера.

1. Lee H. I., Stewart D. S. Calculation of linear detonation instability: one-dimensional instability of plane detonation. *J. Fluid Mech.*, 1990, Vol. 216, pp. 103-132.

2. Erpenbeck J. J. Stability of idealized one-reaction detonations. *Phys. Fluids*, 1964, Vol. 7, pp. 684-696.

3. Hanana M., Lefebvre M. H., van Tiggelen P. J. On rectangular and diagonal three-dimensional structures of detonation waves. *Gaseous and heterogeneous detonations: science and applications*. Ed. by G. D. Roy et al. Moscow: ENAS Publ., 1999, pp. 121-130.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. Н. Кудрявцев.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИХРЕОБРАЗОВАНИЯ В ВИХРЕВОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ

А. П. Винокуров

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

В связи с широким использованием закрученных потоков в технических приложениях, не вызывает сомнений вопрос актуальности их изучения. В промышленности используются скрубберы и циклонные сепараторы для очистки газов, гидроциклонные сепараторы для деаэрации топлива. В горелочных устройствах с помощью закрутки потока добиваются большей устойчивости пламён. Немало внимания уделяется нестационарным явлениям, имеющим место в вихревом течении за рабочим колесом гидротурбины ГЭС.

Целью работы является исследование нестационарных явлений в течении жидкости, в частности, прецессирующего вихревого ядра, образующегося в области истечения интенсивно закрученного потока из цилиндрического сопла. Численное моделирование задачи с реальными параметрами ведется с помощью коммерческого пакета программ Star-CCM+. Для решения стационарной задачи была выбрана стандартная «*k-ε*» модель турбулентности. Для решения нестационарной задачи выбраны: неявная схема по времени, метод отсоединенных вихрей DES (detached eddy simulation), и модель турбулентности Spalart-Allmaras Detached Eddy. Визуализация вихревых структур производилась при помощи lambda2 criterion.

Решение нестационарной задачи выявило, помимо основного вихря, присутствие центрального вторичного вихря, который также был обнаружен и в эксперименте, проведенном ранее.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

1. Гупта А., Лили Д., Сайред Н. Закрученные потоки // М.: Мир, 1987.

2. Алексеенко С. В., Куйбин П. А., Окулов В. Л. Введение в теорию концентрированных вихрей // Монография, 2003.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН
С. В. Алексеенко.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЯ ПОДНЯТОГО ПЛАМЕНИ МЕТОДОМ PIV

Т. А. Винокурова

Новосибирский государственный университет
Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

Режим горения поднятого пламени реализуется при сравнительно большом расходе горючего газа и характеризуется стабилизацией фронта на некотором расстоянии от сопла. В последнее время, с развитием оптоэлектронной базы, существенно возросло количество работ по исследованию механизма стабилизации поднятого пламени оптическими методами, позволяющими измерять пространственные распределения мгновенных характеристик в турбулентных реагирующих потоках. В частности, результаты измерений полей мгновенной скорости свидетельствуют о том, что крупномасштабные вихревые структуры (КВС), формирующиеся в струйном потоке до фронта, играют существенную роль в механизме стабилизации поднятого факела.

Настоящая работа направлена на экспериментальное исследование методом PIV (Particle Image Velocimetry) структуры течения в поднятом пламени при горении предварительно перемешанной пропано-воздушной смеси. В работе также исследовано влияние внешнего периодического возмущения начальной скорости потока на структуру течения и высоту стабилизации. Возмущение было использовано для интенсификации КВС до фронта пламени. Условия эксперимента варьировались в следующем диапазоне: число Рейнольдса достигало 8 000, коэффициент стехиометрии варьировался от 0,5 (обедненная смесь) до 10 (богатая смесь), среднерасходная скорость потока изменялась от 0,5 до 10 м/с. С помощью метода PIV были измерены поля мгновенной скорости, по которым были рассчитаны пространственные распределения средней скорости и интенсивности пульсаций. Для анализа высоты стабилизации пламени и средней интенсивности турбулентного горения была использована высокочувствительная камера, оснащенная оптическим фильтром для регистрации хемилуминесценции радикала CN^* .

Визуализация показала, что воздействие с частотой 300 Гц наиболее эффективно увеличивает стабильность поднятого пламени, а также существенно сокращает высоту стабилизации. Как показали рассчитанные распределения средней скорости потока, не смотря на интенсификацию КВС и рост турбулентных флуктуаций вблизи сопла за счет наложения дополнительных осцилляций, скорость турбулентного распространения основания поднятого пламени существенно не изменилась.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. М. Дулин.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПОЛЯ ТЕЧЕНИЯ ГЕНЕРИРУЕМОГО БАРЬЕРНЫМ РАЗРЯДОМ

О. И. Вишняков

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН

Новосибирский государственный технический университет

Поиск новых способов управления течениями около элементов летательных аппаратов в настоящее время является чрезвычайно актуальным для авиационной техники, поскольку возможности традиционных методов управления ограничивают эффективность летательных аппаратов. Среди перспективных устройств управления выделяются электроргазодинамические устройства, основанные на прямом преобразовании электрической энергии в силовое воздействие на течение, за счет создания электростатического поля и ионизации окружающего газа. В работе рассматривается активатор, основанный на принципе диэлектрического барьерного разряда (ДБР). К настоящему времени выполнено большое количество экспериментальных работ [1], в которых была показана практическая осуществимость данного метода управления. На настоящий момент эффективное управление потоком с использованием такого разряда возможно только на умеренных скоростях. Для улучшения эффективности влияния ДБР на поток и расширения его применимости требуется более глубокое понимание всех процессов, связанных с возникновением и существованием разряда. Наиболее интересный эффект, заключающийся в ускорении потока разрядом, не имеет однозначного объяснения. Существует несколько различных теоретических моделей описывающих процессы в ДБР, но выбор корректной модели может быть сделан только на основании сравнения с детальными экспериментальными данными.

Настоящее экспериментальное исследование посвящено измерению нестационарного поля скоростей, генерируемого диэлектрическим барьерным разрядом, электродинамических и электростатических характеристик барьерного разряда. Получены мгновенные и интегральные параметры разгона газа, и определена эффективность активатора.

1. Post M. L., and Corke T. C., Separation Control on High Angle of Attack Airfoil Using Plasma Actuators, AIAA Journal, Vol. 42, No. 11, 2004, pp. 2177-2184.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук А. А. Сидоренко, П. А. Поливанов.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АДИАБАТИЧЕСКОГО ПУЗЫРЬКОВОГО ДВУХФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДВУХЖИДКОСТНОЙ МОДЕЛИ

И. С. Вожаков

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

В настоящее время известно большое количество моделей течения двухфазных сред. Так, одна из первых работ в этой области была выполнена Нигматулиным [1]. В [2] показано, что система уравнений, предложенная Нигматулиным, негиперболична и неустойчива. В настоящей работе был проведен анализ этой системы уравнений, но с учетом различных диссипативных эффектов. Эти включения не внесли существенных изменений в устойчивость и гиперболичность системы. В работе [3] Geurst, используя вариационный принцип Гамильтона, ввел критерий, который обеспечивает устойчивость решения системы уравнений. Drew и Lahey [4] представили работу, в которой была продемонстрирована устойчивая модель двухфазного течения, использующая осреднение по ансамблю.

Площадь межфазной поверхности входит в большинство корреляций по межфазным взаимодействиям, поэтому, ограничиваясь лишь её стационарными значениями, получаются качественно неверные результаты. При расчете замыкающих соотношений учитывающих процессы дробления и коагуляции необходимо знать плотность кинетической турбулентной энергии, поэтому к выбранной системе уравнений [4] были добавлены уравнение баланса турбулентной энергии и уравнение для плотности межфазной поверхности.

Проведено моделирование адиабатического пузырькового двухфазного течения. В качестве теста были численно найдены скорости распространения волны возмущения объемного паросодержания и проведено сравнение с аналитическим решением.

1. Nigmatulin R. I. Spatial averaging in the mechanics of heterogeneous and dispersed systems. 1979, Int. J. Multiphase Flow 5, 353–385.

2. Клебанов Л. А., Крошилин А. Е., Нигматулин Б. И., Нигматулин Р. И. О гиперболичности, устойчивости и корректности задачи Коши для системы уравнений двухскоростного движения двухфазных сред. ПММ, 1982, т. 46, № 1–2, 83–95.

3. Geurst, J. A. Virtual mass in two-phase bubbly flow. Physica-A 129, 1985, 233–261.

4. Park, J.-W., Drew, D. A., Lahey, Jr. R. T. The analysis of void wave propagation in adiabatic monodispersed bubbly two-phase flows using an ensemble-averaged two-fluid model. Int.J.Multiphase Flow 24,1998,1205–1244.

Научный руководитель – д-р техн. наук Н. А. Прибатурин.

ЛОКАЛЬНО-НЕРАВНОВЕСНЫЙ ТЕПЛОПЕРЕНОС ПРИ БЫСТРОМ ЗАТВЕРДЕВАНИИ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО РАСПЛАВА

В. А. Волков

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского

Одним из важнейших факторов при формировании структуры литого металла является теплоотвод от кристаллизующегося вещества. Поэтому в настоящее время теоретическое изучение температурных полей при высокоскоростном затвердевании чистых металлов и бинарных сплавов после воздействия на них концентрированными потоками энергии является предметом значительного интереса.

В данной работе в одномерном приближении рассматривается локально-неравновесный теплоперенос в сильно переохлажденном расплаве на конечной стадии процесса кристаллизации. При решении задачи дополнительно предполагалось, что граница раздела фаз приближается к поверхности образца с постоянной скоростью, скрытая теплота кристаллизации линейно зависит от температуры, а все физические величины на межфазной границе задаются линейными комбинациями экспоненциальных функций по пространственной координате. В рамках представленной модели найдено точное решение одномерной гиперболической задачи Стефана, в рамках которой теплоперенос описывается телеграфными уравнениями, учитывающими конечную скорость распространения тепловых возмущений. Краевые задачи для теплового потока и температуры как в жидкой фазе, так и в приграничной области твердого тела решались методом Римана. На основе полученных аналитических выражений предсказываются температурные поля в жидкой и твердой фазах при высокоскоростной кристаллизации расплава чистого Ni, проанализирована зависимость температуры на границе раздела фаз от скорости движения фронта затвердевания. Установлено, что с ростом скорости движения фронта температура границы раздела уменьшается, сохраняя, тем самым, известный эффект кинетического переохлаждения. Предсказываемые в результате моделирования температурные поля позволяют качественно объяснить наблюдаемые закономерности при высокоскоростной кристаллизации переохлажденных расплавов металлов и бинарных сплавов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Г. А. Вершинин.

ВЛИЯНИЕ ВДУВА МИКРОСТРУЙ НА АКУСТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СВЕРХЗВУКОВОЙ НЕДОРАСШИРЕННОЙ СТРУИ

Д. А. Губанов

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН

Новосибирский государственный университет

Высокоскоростные струи являются источниками интенсивного шума. Уровень пульсаций звукового давления определяется геометрическими и газодинамическими параметрами струи. Акустическое излучение высокоскоростной струи связано с наличием в слоях смешения струи многочисленных турбулентных вихрей различного масштаба, взаимодействующих со стационарной структурой струи, и генерирующих акустическое излучение в окружающее пространство.

В настоящее время ведутся исследования, направленные на поиск оптимального способа снижения интенсивности акустического излучения, генерируемого высокоскоростными газовыми струями. Известные способы управления шумом включают в себя экранирование струи газовым экраном, применение секторных сопел, многотрубчатых насадков, использование периодических электрических разрядов, впрыск жидкости в поток основной струи, различные активные методы и подходы, использующие генерацию продольных вихрей при помощи дольчатых смесителей, эжекторных сопел, табов, шевронов, вдува микроструй.

В данной работе выполнено экспериментальное исследование влияния вдува газовых микроструй различной интенсивности на суммарный уровень и спектр акустического излучения в дальнем акустическом поле сверхзвуковой недорасширенной струи с геометрическим числом Маха на срезе сопла $Ma = 1$ и $N_{pr} = 5$, где N_{pr} – отношение давлений в форкамере и окружающем пространстве. Исследования проводились на вертикальной струйной установке ИТПМ СО РАН, основная струя истекала из профилированного звукового сопла Витошинского с диаметром выходного сечения $Da = 30$ мм. Осуществлялся нормальный вдув 8-ми микроструй на небольшом расстоянии от среза сопла через микросопловую установку.

В результате работы установлено, что вдув микроструй приводит к снижению амплитуды низкочастотной и увеличению высокочастотной составляющих спектра акустического шума сверхзвуковой недорасширенной струи. Зафиксировано, что вдув микроструй приводит к подавлению дискретного тона в спектре шума струи. Достигнуто снижение суммарного уровня пульсаций акустического давления струи при использовании микроструй на величину 3 дБ.

Научный руководитель – д-р техн. наук В. И. Запрягаев.

СТРУКТУРА УДАРНОЙ ВОЛНЫ В РЕАГИРУЮЩЕМ ГАЗЕ

А. М. Демьяненко

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН
Новосибирский государственный университет

Внутренняя структура фронта ударной волны - это классическая задача кинетической теории газов. В течение последних десятилетий было представлено много численных решений для сплошнородных и кинетических моделей. Задача о структуре ударной волны для реагирующего многокомпонентного газа, включая вязкую структуру фронта волны, зону релаксации, и зону химических реакции, до сих пор не была детально рассмотрена на кинетическом уровне. Основная цель настоящего исследования - изучение данной структуры с использованием метода прямого статистического моделирования Монте-Карло (ПСМ), который может рассматриваться как метод численного решения кинетического уравнения Больцмана.

В классической одномерной формулировке задачи о структуре ударной волны используется система координат, связанная с фронтом волны. Условия на верхней границе расчетной области соответствуют приходящей части максвелловского распределения молекул скоростям и больцмановскому распределению вращательной/колебательной энергии молекул в соответствии с параметрами набегающего сверхзвукового потока. На нижней границе заданы аналогичные условия, соответствующие параметрам дозвукового потока, которые определяются с использованием соотношений Рэнкина-Гюгонио для реагирующего многокомпонентного газа.

Отметим некоторые ключевые аспекты данной работы:

— результаты будут представлены для различных столкновительных моделей поступательно-вращательного, поступательно-колебательного, и колебательно-колебательного энергообмена, а также для различных химических механизмов и моделей химических реакций;

— будет проведено сравнение с имеющимися экспериментальными данными и проанализирована применимость химических моделей метода ПСМ;

— особое внимание будет уделено вычислению и анализу функций распределения молекул по скоростям и внутренним энергиям в вязком фронте ударной волны и зоне термохимической релаксации.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Е. А. Бондарь.

ПРЯМОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ГИПЕРЗВУКОВОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ТОНКОЙ ПЛАСТИНЫ

О. А. Долгопятова

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящий момент для аэрофизики очень актуально предсказание ламинарно-турбулентного перехода. Целью исследований является уменьшение второй моды возмущений, приводящей к переходу. Для этого помимо экспериментальных и теоретических изучений проводится численное моделирование процессов в пограничном слое.

В данной работе рассматривается влияние акустических волн на пограничный слой тонкой пластинки при обтекании её гиперзвуковым потоком идеального газа при нулевом угле атаки. Вычисления проводились на программном пакете «Ansys Fluent», построение сетки выполнено с помощью программы «Gambit». Акустические колебания излучались под нулевым углом наклона к тонкой пластине. В задаче использовался явный метод решения двумерных нестационарных уравнений Навье-Стокса. Расчетная область представляла собой прямоугольник с длиной $l = 0,189$ м и высотой $h = 0,038$ м. Параметры набегающего потока задавались с помощью User-Defined-Function. Вводились колебания давления, числа Маха и температуры около постоянных величин $P = 1000$ Па, $T = 70$ °К, $M = 6$. Безразмерная амплитуда колебаний давления составляла $\varepsilon = 5 \times 10^{-4}$, безразмерная круговая частота $\omega = 260$. На стенке задавалась постоянная температура $T = 497$ °К. Зависимость коэффициента вязкости от температуры определялась по закону Сазерленда. Для расчета использовалась равномерная сетка с 2486 узлами по X и 400 узлами по Y.

Проведены расчеты для быстрых и медленных акустических волн. Показано, что в обоих случаях возбуждаются собственные колебания пограничного слоя. Причем для быстрых акустических волн амплитуда колебаний давления второй моды неустойчивости меньше, чем для медленных акустических волн. Полученные результаты сравниваются с известными данными [1].

I. V. Egorov, A. V. Fedorov and V. G. Soudakov, Direct numerical simulation of supersonic boundary-layer receptivity to acoustic disturbances, AIAA 2005-97, 10-13 Jan 2005.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук А. Н. Шиплюк.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТА НАНОПЛЁНОК НА ТВЁРДЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПРИ ИХ ОБДУВЕ ВЫСОКОЭНТАЛЬПИЙНЫМ ПОТОКОМ ПЛАЗМЫ

А. В. Жданов

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН
Новосибирский государственный университет

Целью работы является исследование процессов конденсации наноплёнок из сверхзвукового потока неравновесной плазмы.

Поставленные задачи:

1. Адаптировать существующую установку – дисковый МГД-ускоритель для нанесения наноплёнок различной химической природы – углеродной и нитридов металлов;
2. Создать и отладить адекватную задаче диагностическую систему;
3. Провести синтез различных наноплёнок при разнообразных условиях;
4. Изучить физические и механические свойства полученных плёнок;
5. Произвести сравнительный анализ результатов и сделать выводы о возможных областях применения получаемых предлагаемым способом наноплёнок.

Свойства получающихся наноплёнок сильно зависят от технологии их получения. Поэтому каждый новый способ должен приводить к наноплёнкам с новыми свойствами. Исследуемый в данной работе способ интересен тем, что его ещё никто не применял.

Данный метод можно отнести к методу плазмохимического осаждения с тем принципиальным отличием, что наноплёнки получаются из сверхзвукового потока ионизованного газа, тогда как в других методах сверхзвуковые потоки не используются.

Основой устройства дискового МГД-ускорителя служит сверхзвуковой дисковый канал, образованный двумя диэлектрическими дисковыми стенками диаметром 200 мм. В центре дискового канала находится источник газа, состыкованный с одним из дисков. Источник газа состоит из газового баллона, и импульсного электромагнитного клапана. Газ из источника поступает в центр канала. На входе в канал формируется дисковая струя воздуха. В канале установлены электроды – катод и 24 анода – по окружности вблизи выходного сечения канала. Канал помещен в магнитное поле с индукцией B , нормальное к его стенкам. Поле создается двумя катушками электромагнита, запитанными от источника постоянного тока. Электрические зонды для измерения скорости потока установлены вне разрядного промежутка.

Также планируется переделать существующий дисковый ускоритель в линейный и провести соответствующие эксперименты на нём.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Г. А. Поздняков.

ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС В ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ

В. А. Залютдинов, Н. В. Нутчина-Пестрякова
Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
г. Хабаровск

Известно, что при воздействии светового поля на дисперсную среду с наночастицами возникают тепловые и концентрационные потоки, которые, в частности, обуславливают наличие концентрационного механизма кубичной оптической нелинейности среды [1–3].

Целью данной работы является моделирование тепловых и концентрационных потоков в дисперсной среде, обусловленных эффектом Дюфура, термодиффузии и электрострикции.

В качестве дисперсной системы рассматривалась жидкофазная среда с наночастицами (дисперсная фаза), находящаяся под воздействием лазерного излучения. Решались уравнение теплопроводности и диффузии частиц с учетом перекрестных потоков. Для ряда задач проводилось численное моделирование

Полученные результаты позволяют рассчитать тепловое действие излучения при его распространении в прозрачной дисперсной среде, величина которого может быть заметной для мощных лазерных пучков, что представляет интерес для ряда практических задач взаимодействия лазерного излучения с дисперсными средами, а также для разработки новых оптических методов диагностики дисперсных сред.

1. A. Ashkin, J. M. Dziedzic and W. Smith. Continuous-wave self-focusing and self-trapping of light in artificial Kerr media // *Opt. Lett.* 1982. V. 7, No. 6. P. 276–278.

2. L. Vicary Pump-probe detection of optical nonlinearity in water-in-oil microemulsion // *Philosoph. Mag.* B. 2002. V. 82. P. 447–452.

3. В. И. Иванов Термоиндуцированные механизмы записи динамических голограмм. Владивосток: Дальнаука. 2006. 143 с.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доцент В. И. Иванов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАЛЛАДИЕВЫХ МЕМБРАН ДЛЯ СЕПАРАЦИИ ВОДОРОДА

А. О. Замчий

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

Всякая мембрана представляет собой область, разграничивающую две фазы. Особое место среди общего многообразия мембран занимают палладиевые фильтры. Впервые свойства палладия как высоко водород-проницаемого материала были исследованы в середине XIX века [1].

Работа направлена на исследование процесса диффузии водорода через палладиевую мембрану. При температурах выше 300 °С для мембран с толщиной более 1 мкм и давлениях порядка нескольких атмосфер процесс проникания водорода через мембрану описывается законом Сиверта [2]:

$$J = \frac{Q}{l} \cdot (P_{H_2,1}^{0.5} - P_{H_2,2}^{0.5}),$$

где J – поток водорода через мембрану, $P_{H_2,1}, P_{H_2,2}$ – парциальные давления водорода во входной и выходной стороне мембраны соответственно, Q – проницаемость мембраны, l – её толщина.

В ходе эксперимента мембрана толщиной 50 мкм и площадью 50 см² располагалась внутри стального цилиндра, на концах которого находились рабочие объемы. Водород ввиду разности давлений в объемах диффундировал через мембрану. Температура мембраны поддерживалась на уровне 300–400 °С.

Предварительные эксперименты показали, что при температуре 300 °С, входном и выходном парциальном давлений в 2 и 0 бар, соответственно, величина потока водорода через палладиевую мембрану составила 0,6 (л (н.у.) / мин)

1. T. Graham: Phil. Trans. Roy. Soc. (London) 156, 415 (1866).

2. Engineering of Substrate Surface for the Synthesis of Ultra-Thin Composite Pd and Pd-Cu Membranes for H₂ Separation by Federico Guazzone. 2005.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С.З. Сахапов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКА АЭРОЗОЛЯ НАНОПОРОШКА С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

К. В. Зобов

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН

В последнее время в различных производственных отраслях проявляется всё больший интерес к нанодисперсным порошкам, которые способны изменять свойства производимых материалов и веществ. Для их получения возможно использование метода, основанного на испарении вещества электронным пучком, который уже показал на опыте возможности производства нанопорошков широкого спектра веществ. На данный момент метод находится на этапе разработки высокой производительного процесса и особую ценность может представлять экспресс-метод, позволяющий контролировать размер частиц непосредственно во время производства и на разных его этапах. Прямые измерения, такие как микроскопия, а также методы косвенного измерения, например, на основе адсорбционных эффектов или флуктуаций рассеяния в жидкой смеси, трудоемки и требуют значительного времени.

В нашей работе основное внимание уделялось измерениям интенсивности рассеяния света, проходящего через аэрозоль нанопорошка и применению теории Рэлея, дающей зависимость интенсивности рассеяния от концентрации и пройденного светом расстояния, к полученным результатам. Для проведения исследований был создан специальный модуль, который позволил проводить измерения непосредственно в процессе получения нанопорошка на производственной установке. В ходе экспериментов был получен ряд характерных зависимостей, позволяющих судить о параметрах аэрозоля. Полученные данные сравнивались с данными, полученными методами микроскопии и адсорбционных измерений.

В результате работы был предложен и апробирован оптический метод анализа потока аэрозоля нанопорошка. Впоследствии данная методика может быть применена на промышленной установке по производству нанопорошков, основанной на методе испарения электронным пучком.

1 Бардаханов С. П., Корчагин А. И., Куксанов Н. К., Лаврухин А. В., Салимов Р. А., Фадеев С. Н., Черепков В. В. Получение нанопорошков испарением исходных веществ на ускорителе электронов при атмосферном давлении // ДАН. 2006. Т. 409. № 3. С. 320–323.

2 Жуков Б. Д. Дисперсные системы и поверхностные явления. Новосибирск: НГТУ, 2002. 156 с.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук С. П. Бардаханов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИПЕРЗВУКОВОГО ТЕЧЕНИЯ В ВИХРЕВОМ СЛЕДЕ ЗА КРЫЛОМ И ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ГОЛОВНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ

Я. С. Игнатенко, А. С. Шмаков

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

Исследование взаимодействия сверхзвукового вихревого следа с ударными волнами является одной из актуальных задач газодинамики. Такой тип взаимодействия встречается обтекании элементов летательных аппаратов, например, несущих поверхностей или на входе в воздухозаборник.

В работе [1] исследовано взаимодействие вихревого следа за крылом с головной ударной волной перед плоским торцом и выявлено различие нестационарных режимов взаимодействия при числах Маха 2–4 и $M=6$. В первом случае наблюдались режимы с образованием пульсирующей или конической ударной волны, а при $M=6$ возникал режим с образованием автоколебаний. Целью работы является исследование вихревого следа за крылом и его взаимодействие с головной ударной волной перед цилиндром при $M=6$.

Эксперименты выполнены в аэродинамической трубе Т-326 ИТПМ СО РАН. Концевой вихрь генерировался прямым полукрылом, угол атаки крыла менялся от -2° до 20° . Головная ударная волна образовывалась перед цилиндром с плоским торцом, устанавливаемым на различных расстояниях от крыла. В ходе эксперимента производилась визуализация течения, измерялись полное давление и температура восстановления в следе за крылом, а так же давление и его пульсации на торце цилиндра.

Результаты экспериментов позволили определить характеристики вихревого следа за крылом, размеры и положения ядра продольного вихря, влияния на него угла атаки. Получено, что автоколебания возникают в диапазоне углов атаки 6-14 градусов и возможно связаны с дозвуковым характером течения в ядре вихря.

1. Shevchenko A. M., Shmakov A. S. Experimental techniques and results of investigations of an unsteady flowfield in wing wakes / bow shock wave interactions. Proc. at the XIV International Conference on the Methods of Aerophysical Research, Novosibirsk, June 30-July 6, 2008, Part , ISBN 978-5-98901-037-0.

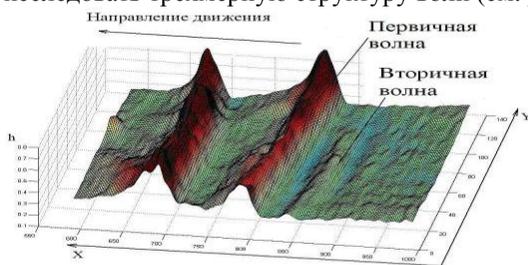
Научный руководитель – канд. техн. наук А. М. Шевченко.

ТРЕХМЕРНАЯ СТРУКТУРА ВОЛН НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНКИ ЖИДКОСТИ В КОЛЬЦЕВОМ ГАЗОЖИДКОСТНОМ ТЕЧЕНИИ

С. В. Исаенков

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

В данной работе исследовалась эволюция волн на поверхности пленки жидкости, обдуваемой спутным потоком газа в вертикальном цилиндрическом канале диаметром 15 мм. Для исследования волновой картины использовалась высокоскоростная реализация метода лазерно-индуцированной флюоресценции (LIF). Ранее было установлено [1], что волны бывают двух видов: первичные и вторичные. Вторичные волны рождаются на задних склонах первичных волн, затем распространяются по остаточному слою жидкости между первичными волнами с меньшей скоростью и поглощаются следующей первичной волной. Эксперименты работы [1] были проведены в одном продольном сечении канала. Наши результаты были получены при помощи камеры с прямоугольным датчиком, что дало возможность исследовать трехмерную структуру волн (см. рисунок).



Первичные волны в большинстве случаев занимали всю рассматриваемую область канала (~ 12 мм), однако их размер, по-видимому, меньше периметра канала, поскольку в рабочей области нередко наблюдались края первичных волн. Генерация вторичных волн происходила как в центре, так и на краях первичных волн, и было замечено, что в обоих случаях сценарий эволюции вторичных волн был одинаков.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-115.2011.8 и гранта РФФИ 10-08-01145.

1. Alekseenko S. V., Antipin V. A., Cherdantsev A. V., Kharlamov S. M., Markovich D. M. Two-wave structure of liquid film and waves interrelation in annular gas-liquid flow with and without entrainment // *Physics of Fluids* (2009) 21, 061701.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. В. Черданцев.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ И ДЕСОРБЦИИ ГЕЛИЯ ЦЕНОСФЕРАМИ

И. В. Казанин^{1,2}, А. Ю. Пак¹

¹ Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН

² Новосибирский государственный университет

В настоящее время гелий производится в промышленном масштабе, в основном, с помощью криогенного разделения природного газа с содержанием He 0,1–2 %. Выделение небольших объемов инертных составляющих требует сжижения основного объема углеводородов, что делает низкотемпературные технологии разделения компонент газовой смеси весьма капиталоемкими и энергоемкими. Поэтому актуальным представляется разработка новых некриогенных способов выделения гелия, которые представляются более выгодными с точки зрения снижения стоимости и повышения эффективности процесса.

Можно выделить два основных принципа разделения газовых смесей: мембранный и адсорбционный. Наиболее подходящим материалом для мембран при извлечении гелия из природного газа может быть кварцевое стекло, которое является проницаемым для гелия и практически абсолютно непроницаемым для других компонент природного газа. Если в качестве мембран использовать полые сферические микрочастицы, то можно значительно увеличить площадь поверхности, через которую происходит процесс разделения компонент газовой смеси и тем самым существенно повысить производительность таких систем.

Проведенные ранее параметрические исследования сорбции и десорбции гелия полыми стеклянными микросферами МС–1Л продемонстрировали их проницаемость для гелия и непроницаемость для воздуха. Было показано, что процессы сорбции и десорбции занимают длительное время и для практического применения необходимо их существенное сокращение.

С этой целью в данной работе исследовались ценосферы НМ–R–5А (ИХХТ СО РАН, г. Красноярск). Исследование проводится на примере воздушно-гелиевой смеси. Были выполнены эксперименты по сорбции и десорбции гелия ценосферами при различных значениях начального давления смеси. Сравнение экспериментальных данных для микросфер МС–1Л и ценосфер НМ–R–5А показало, что темпы исследуемых процессов для ценосфер на порядок выше, чем для микросфер.

Научный руководитель – канд. физ.-мат.наук, доцент В. Н. Зиновьев.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВТОРИЧНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ НА СКОЛЬЗЯЩЕМ КРЫЛЕ

Р. И. Казанцев, Ю. Г. Ермолаев
Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время исследования возникновения турбулентности в пространственных пограничных слоях проводятся во многих странах. Это связано с тем, что подобные пограничные слои реализуются на скользящих крыльях современных летательных аппаратов. Известно, что для дозвуковых течений в процессе ламинарно-турбулентного перехода существенную роль в нелинейной области развития возмущений играет механизм вторичной неустойчивости [1]. Для сверхзвуковых течений подобных исследований не проводилось. Целью настоящей работы было экспериментальное исследование линейной и нелинейной стадий развития возмущений в сверхзвуковом пограничном слое на скользящем крыле.

Эксперименты выполнялись в сверхзвуковой аэродинамической трубе Т-325 ИТПМ СО РАН при числах Маха $M = 2-4$. В экспериментах использовалась симметричная модель крыла с 3% чечевицеобразным профилем и углом скольжения передней кромки $\chi = 45^\circ$. Возмущения в потоке регистрировались термоанемометром постоянного сопротивления.

В данной работе проведено исследование развития возмущений на модели скользящего крыла при числах Маха 2–4: определены положения перехода, измерены профили пульсаций массового расхода, профили средних напряжений, получены амплитудно-частотные спектры. Используя статистический анализ данных, определены области линейного и нелинейного развития возмущений. Измерения в области линейного развития пульсаций выполнены при числах Маха 2 и 2.5. Показано, что при $M = 2$ для линейной области характерно нарастание пульсаций с частотами от 8 до 35 кГц. В области нелинейного развития наблюдался рост возмущений в диапазоне от 8 до 100 кГц. По всей видимости, рост высокочастотной части спектра (> 35 кГц) вызван механизмом вторичной неустойчивости. Аналогичные результаты получены для других чисел Маха.

1. Y Kohama, Saric W. S., Hoos J. A. A high frequency, secondary instability of crossflow vortices that leads to transition // Boundary layer transition & control. – 1991. С. 4.1-4.13.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Н. В. Семенов.

КОЛЕБАНИЯ ГАЗОВОГО ПУЗЫРЬКА В ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

А. С. Канилова, В. Л. Палий

Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
г. Хабаровск

Оптическое управление микрочастицами является быстроразвивающейся областью прикладной лазерной физики. Исследование динамики частиц в оптических ловушках является, в связи с этим, интересной и важной задачей. Например, в экспериментах по взаимодействию излучения CO_2 -лазера с органическими жидкостями авторами [1] были обнаружены незатухающие колебания пузырька в поле лазерного излучения.

В данной работе проанализированы различные механизмы колебаний газового пузырька в жидкости: маятниковый, радиальный, термокапиллярный. Рассмотрены уравнения движения газового пузырька в вязкой жидкости. Исследованы автоколебательные режимы движения пузырька. Проведено численное сравнение характеристик колебаний для рассмотренных механизмов с данными, полученными в ходе эксперимента.

На основе полученных результатов сделан вывод, что термокапиллярный механизм является определяющим в возникновении незатухающих колебаний пузырька в жидких средах [1, 2]. Полученные результаты могут быть использованы для разработки различных устройств в микрофлюидике, а также для применения в технологических процессах, для разработки новых методов физических исследований.

1. В. И. Иванов, А. С. Дривольский, А. А. Кузин, Г. А. Мядзюта, А. С. Овсепян, Термоиндуцированный дрейф частиц в жидкости под действием лазерного излучения // Оптика–2009. Труды шестой международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика-2009». Санкт-Петербург, 19–23 октября 2009. Под ред. проф. В. Г. Беспалова, проф. С. А. Козлова. СПб: СПбГУ ИМТО. 2009. с.316.

2. В. И. Иванов, А. А. Кузин, А. С. Овсепян, Т. С. Сюй. Термокапиллярный механизм левитации частицы в жидкофазной среде // Бюллетень научных сообщений № 13. Сборник научных трудов под ред. В. И. Строганова. Хабаровск: изд-во ДВГУПС. 2008. с.100–103.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доцент В. И. Иванов.

УПРАВЛЕНИЕ ВОЗМУЩЕНИЯМИ В ГИПЕРЗВУКОВОМ ВЯЗКОМ УДАРНОМ СЛОЕ НА ПЛАСТИНЕ ПОД УГЛОМ АТАКИ

С. В. Кириловский
Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН
Новосибирский государственный университет

Вязкий ударный слой (ВУС) формируется на передних кромках гиперзвуковых летательных аппаратов, где локальное число Рейнольдса еще невелико и вязкие силы доминируют в области течения за головной ударной волной (УВ). Восприимчивость ВУС является важной начальной стадией ламинарно-турбулентного перехода в пограничном слое, воздействие на которую входит в круг возможных методов управления ламинарно-турбулентным переходом при высокоскоростном обтекании.

При воздействии внешних акустических волн на гиперзвуковой ударный слой на пластине под нулевым углом атаки в последнем генерируются преимущественно энтропийно-вихревые возмущения. В этих условиях успешно используется интерференционный метод управления возмущениями в ВУС [1]. При увеличении угла атаки пластины в ВУС уменьшается уровень пульсаций энтропии и увеличивается уровень пульсаций давления [2], но до углов атаки 15° в ВУС, по-прежнему, доминируют энтропийно-вихревые возмущения, а акустические затухают.

Методом прямого численного моделирования решалась задача о взаимодействии ВУС с внешними акустическими возмущениями, распространяющимися вдоль направления потока, и возмущениями типа “вдув-отсос”, вводимыми в ударный слой с поверхности модели. Получены данные по восприимчивости ВУС на пластине при углах атаки $\alpha = 0^\circ \div 20^\circ$, числе Маха $M_\infty = 21$ и единичном числе Рейнольдса $Re_{1\infty} = 6 \times 10^5 m^{-1}$. Показана возможность подавления возмущений, возникающих в ВУС под действием падающих на него внешних акустических волн, противофазными возмущениями от источника вдув-отсос, т.е. интерференционным методом. При этом также наблюдается и снижение пульсаций давления внутри ВУС.

-
1. Кириловский С. В. Сборник тезисов МНСК 2009, С. 43.
 2. Маслов А. А. и др., ПМТФ. 2010. Т. 51. № 4. С.39-47.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук. Т. В. Поплавская.

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В ЖИДКОСТЯХ

Р. Е. Киселев, Д. Ю. Шубин

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

В работе с использованием теории размерности физических величин получена формула скорости распространения поверхностных волн, вызванных ударом о поверхность жидкости твердого тела малых размеров:

$$v = \left(\frac{\sigma}{\rho \cdot h} \right)^{\frac{1}{2}},$$

где σ – натяжение жидкости, ρ – плотность, h – высота падения тела.

Приводятся экспериментальные результаты по проверке формулы, показано, что в пределах ошибки измерения эта зависимость верно отражает физическую динамику распространения поверхностных волн в жидкости.

Научный руководитель – д-р пед. наук, проф. В. Ф. Глушков.

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОДУКТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ МЕТАНА В ДУГОВОМ РАЗРЯДЕ

М. П. Коверзнев

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

На сегодняшний день в промышленности получили распространение каталитическая конверсия метана: и высокотемпературная (некаталитическая) конверсия. Каталитическую конверсию проводят с водяным паром в печах с внешним обогревом (паровая конверсия), а также с парокислородной смесью при небольшом ($1,5\text{—}2\text{ кгс/см}^2$) и повышенном ($20\text{—}30\text{ кгс/см}^2$) давлении. Используемый катализатор — никель с различными добавками. Недостатки технологии каталитического разложения - необходимость предварительной высокотемпературной обработки катализатора (восстановления) и проблемы, связанные с отравлением катализатора серосодержащими веществами, приводящие к снижению его эффективности. В том числе, важной проблемой является наличие моно- и диоксида углерода на выходе, имеющих высокое влияние на экологическое равновесие. Актуальным является разработка новых методов каталитической конверсии метана, увеличение их эффективности, а также возможность получения полезных углеродных соединений (например, УНТ, фуллерены, углеродные луковичные структуры и др.) в результате реакции.

В данной работе проводится пиролиз метана в дуговом разряде переменного тока между двумя графитовыми электродами. Подача смеси метана и катализатора в камеру осуществляется непосредственно через анод. В качестве буферного газа используется аргон. Для получения частиц катализатора буферный газ при атмосферном давлении пропускается через сосуд, заполненный жидким пентакарбонилем железа ($\text{Fe}(\text{CO})_5$) термостатированный при $0\text{ }^\circ\text{C}$. Пары пентакарбонила железа при нормальных условиях разлагаются – идет ступенчатая потеря групп (CO). Давление в реакционной камере регулируется скоростью откачки.

Был произведен масс-спектрометрический анализ продуктов разложения при различных составах смесей газов (CH_4 , Ar) и концентрации катализатора. Выявлена химическая реакция процесса разложения метана и проведен анализ полученного углеродсодержащего материала методами электронной просвечивающей (JEM 2010) и сканирующей (JSM 6700F) микроскопии. Исследовано влияние состава смеси и параметров разряда на степень конверсии.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Д. В. Смовж.

О НЕЛИНЕЙНОМ РАЗВИТИИ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ТРЕХМЕРНОМ СВЕРХЗВУКОВОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Г. Л. Колосов

Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН
Новосибирский государственный университет

Экспериментальные исследования механизмов возникновения турбулентности в сверхзвуковых пограничных слоях проводятся как в естественных, так и в контролируемых условиях. Т.к. природа зарождения естественных возмущений случайна, невозможно определить волновые характеристики пульсаций и количественно сравнить с теоретическими расчетами. Но случайный характер этих пульсаций позволяет использовать методы статистического и спектрального анализа данных для выявления характера взаимодействия возмущений. Для пограничного слоя плоской пластины ранее были проведены исследования развития и взаимодействия случайных естественных и периодических контролируемых возмущений. Целью данной работы было провести аналогичные исследования для случая трехмерного пограничного слоя, реализуемого над поверхностью скользящего крыла.

Эксперименты были выполнены в сверхзвуковой аэродинамической трубе Т-325 ИТПМ СО РАН при числе Маха $M = 2.0$. Модель тонкого скользящего крыла имела угол стреловидности 45° и была установлена при нулевом угле атаки. Возмущения в поток вводились с помощью точечного электрического разряда, который располагался внутри модели. Разряд зажигался на частоте 20 кГц. Измерения проводились с помощью термоанемометра постоянного сопротивления. Использовался датчик, изготовленный из вольфрамовой нити длиной 1.5 мм и диаметром 10 мкм.

В работе представлен спектральный и статистический анализ нелинейного взаимодействия контролируемых возмущений с естественными пульсациями сверхзвукового пограничного слоя. Показано, что это взаимодействие играет важную роль в ламинарно-турбулентном переходе.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доцент. А. Д. Косинов.

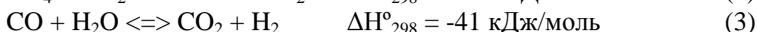
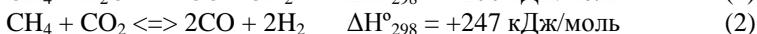
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРОВОЙ КОНВЕРСИИ БИОГАЗА В МИКРОКАНАЛЕ С НАНОКАТАЛИЗАТОРОМ.

М. Е. Кузнецова

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

Водород, являясь экологически чистым энергоносителем, насматривается в настоящее время как важная составляющая энергетики будущего. Существует достаточно много способов получения водорода из водородосодержащих газов, но особого внимания заслуживают процессы, связанные с протеканием каталитических реакций, из-за их широкого использования в промышленности. К таким процессам относится каталитическая паровая конверсия биогаза – возобновляемого источника энергии.

Биогаз – газообразный продукт, получаемый в результате анаэробной ферментацией органических веществ самого разного происхождения. Кинетика паровой конверсии биогаза может быть описана следующими уравнениями:



К преимуществам данного процесса можно также отнести то, что паровая конверсия биогаза объединяет в себе каталитическое окисление метана водяным паром и двуокисью углерода, объединяя в себе, таким образом, паровую (1) и углекислотную конверсии метана (2), а также сопутствующую реакцию паровой конверсии продукта реакции (1) - монооксида углерода (3). Это позволяет получить богатую водородом выходящую смесь.

В работе приводятся результаты исследования паровой конверсии биогаза в микроканальном реакторе с $\text{Rh}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ нанокатализатором. Преимуществом микроканального реактора является отсутствие внешних диффузионных ограничений на скорости реакций. В качестве модели биогаза использовалась смесь CH_4 и CO_2 в различных соотношениях при мольном соотношении $\text{H}_2\text{O} / \text{CH}_4 = 2.2$. Получены зависимости концентраций компонент выходной смеси от температуры реактора для времени пребывания 128 мс, определены тепловые режимы с высоким выходом водорода. Проведено сравнение зависимостей конверсии CH_4 и CO_2 от температуры реактора с равновесными значениями и выполнен анализ вкладов реакций (1) – (3) в исследованном диапазоне температур.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук В. В. Кузнецов.

СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЯ И РЕЖИМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУИ С ПРЕГРАДОЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

С. Г. Кундасев

Институт теоретической и прикладной механики

им. С. А. Христиановича СО РАН

Новосибирский государственный университет

Среди проблем аэрофизики и газовой динамики задача о взаимодействии сверхзвуковой струи с преградой представляется актуальной, что обусловлено применением подобных задач в промышленности и ракетно-космической технике. В каждом отдельном случае характер течения и его особенности требуют детального изучения, ввиду большого количества определяющих параметров, которые можно записать в виде функционала $F(Re, M, \chi, Npr, k, \alpha)$.

Для понимания картины течения в задаче о натекании сверхзвуковой струи на преграду необходим комплексный метод исследования, основанный на эксперименте, обеспеченном дополняющим его результаты численным моделированием процесса. Такой подход позволяет, используя результаты визуализации структуры течения и распределение измеренного параметра (давление Пито) получить возможность верификации результатов численных исследований. Сравнение экспериментальных данных и результатов расчетов проводится по полному измеренному давлению (давление Пито), как параметру потока, измеряемому наиболее надежно. В настоящее время мощность вычислительных систем и уровень автоматизации эксперимента позволяют проводить детальные исследования процессов взаимодействия сверхзвуковой струи с преградой.

В работе изучается струя, истекающая из сопла с числом Маха на срезе $M = 3.32$ и углом полураствора $\alpha = 12^\circ$ с преградой. Эксперименты и расчеты выполняются, основываясь на газодинамических параметрах потока, рассматриваемых в перспективных системах беспарашютной посадки. Для проведения исследований выбран комплексный подход, включающий в себя серию экспериментов на установках ИТПМ СО РАН и численное моделирование процесса в стационарной постановке с использованием коммерческого программного пакета FLUENT. К настоящему моменту проведена серия экспериментов и расчетов для случая свободной струи и плоской пластины, в результате которых получены данные о стационарной структуре течения, а также выявлено соответствие между экспериментальными и расчетными данными.

Научный руководитель – д-р техн. наук В. И. Запрыгаев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР В ЗАКРУЧЕННОМ ПОТОКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

И. В. Литвинов

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

Закрученные потоки широко используются в различных энергетических и технологических устройствах. В ряде технологических устройств, таких как газотурбинные камеры сгорания и циклонные сепараторы, сильная закрутка потока является необходимым условием их нормальной работы, но приводит к неустойчивости течения, называемой прецессирующее вихревое ядро (ПВЯ) [1, 2]. Прецессирующие вихри могут производить нежелательные вибрации и шум. Поэтому изучение данного явления является важной и актуальной задачей.

Стандартные методы исследования поля течения могут оказаться весьма затратными в плане стоимости оборудования и времени на проведение измерений. При этом использование датчиков давления может быть весьма простым и эффективным средством получения информации о характеристиках и режимах вихревого течения. Использование акустических датчиков, снабженных миниатюрным наконечником, позволяет проведение измерения локальных пульсаций давления стандартным микрофоном, удаленным от точки измерения. Это дает возможность изучения с минимальным возмущением характеристик акустического поля с достаточно хорошим пространственным разрешением. В представленной работе акустические датчики были использованы для определения характеристик вращающихся (прецессирующих) вихрей, образующихся в закрученных течениях за модельной вихревой камерой тангенциального типа.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

1. Syred N. A review of oscillation mechanisms and the role of the precessing vortex core (PVC) in swirl combustion systems // Prog. Energy Combust. Sc. 2006. Vol. 32, No. 2. P.:93-161.

2. Alekseenko S. V., Kuibin P. A., Okulov V. L., Shtork S. I. Helical vortices in swirl flow // J. Fluid Mech. 1999. Vol. 382. P. 195-243.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. И. Шторк.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНОГО ПОРИСТОГО ПОКРЫТИЯ НА РАЗВИТИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ В ГИПЕРЗВУКОВОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

С. В. Лукашевич, С. О. Морозов
Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН
Новосибирский государственный университет

Для экономической пригодности аэрокосмических транспортных систем следующего поколения требуется легкая система тепловой защиты (СТЗ). Технологии управления ламинарным пограничным слоем, которые задерживают ламинарно-турбулентный переход, могут сильно уменьшить тепловые потоки и таким образом уменьшить вес и сложность СТЗ. Экспериментально показано [1], что использование пассивного пористого покрытия эффективно увеличивает протяжённость ламинарного течения в 1.3–1.85 раз. Расчеты степеней роста второй моды возмущений, для различных толщин пористого покрытия [2] показали, что существует оптимальная толщина пористого покрытия, при которой его эффективность максимальна.

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования влияния толщины пассивных пористых покрытий на развитие возмущений в гиперзвуковом пограничном слое. Исследования проведены в гиперзвуковой аэродинамической трубе Транзит-М, при числе Маха $M = 6$ и трех единичных числах Рейнольдса $Re_{1\infty} = (2.6; 4.6; 6.6) \times 10^6 \text{ м}^{-1}$. Модель выполнена в виде острого конуса с полууглом раскрытия 7° . Исследовались пористые покрытия со степенью пористости $S = 64\%$ и 44% .

Показано, что пассивные пористые покрытия различной толщины и степени пористости эффективно стабилизируют возмущения второй моды. Максимальная эффективность достигается при определённой толщине и практически одинакова для покрытий с $S = 64\%$ и 44% .

1. Лукашевич С. В., Бунтин Д. А., Шиплюк А. Н. Влияние затупления носовой части конуса и звукпоглощающего покрытия на переход гиперзвукового пограничного слоя // Устойчивость и турбулентность течений гомогенных и гетерогенных жидкостей Доклады молодежной конференции. – 2008. – Вып. 11. – стр. 213-216.

2. Fedorov A. V., Malmuth N. D., Rasheed A., Hornung H. G. Stabilization of Hypersonic Boundary Layers by Porous Coating // AIAA Journal. – 2001. – Vol. 39. – No. 4. – pp. 605-610.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук А. Н. Шиплюк.

УПРАВЛЕНИЕ ОТРЫВНЫМ ТЕЧЕНИЕМ С ПОМОЩЬЮ СЛЕДА ЗА НИТЬЮ ПРИ БОЛЬШИХ И МАЛЫХ УГЛАХ АТАКИ

М. В. Михаэлис

Институт теоретической и прикладной механики

им. С. А. Христиановича СО РАН

Новосибирский государственный университет

Отрыв потока с поверхности является одной из фундаментальных проблем в механике жидкости и газа. Это явление играет ключевую роль в аэродинамике летательных аппаратов. Отрыв может приводить к кардинальным изменениям средних во времени и нестационарных аэродинамических нагрузок с поверхности. Отрывное обтекание крыльев активно изучается на протяжении последних лет с целью совершенствования методов прогнозирования подобных течений и разработки способов целенаправленного воздействия на них, то есть управления отрывом потока. Одним из таких способов является механическое воздействие на набегающий поток. Конкретной фундаментальной задачей работы было экспериментальное изучение влияния вихревых возмущений набегающего потока на течение внутри зоны отрыва. Такие исследования необходимы для разработки новых способов управления течениями жидкости или газа в различных технических устройствах, где необходимо обеспечить безотрывное движение. Ранее в наших экспериментах по управлению обтеканием использовались выступы на крыле или волнистость его поверхности [1–3].

В данной работе изучалось влияние следа за нитью на отрыв потока на модели крыла. Турбулентный след создавался тонкой нитью диаметром 0,5 мм или металлическим цилиндром диаметром 4 мм. Обнаружен новый эффект устранения срыва и присоединения потока в случае, если след за нитью попадает на поверхность крыла.

1. Занин Б. Ю., Козлов В. В., Маврин О. В. О способе управления глобальным отрывом потока // Теплофизика и аэромеханика. 1997. Т. 4, № 4. С. 381–385.

2. Зверков И. Д., Занин Б. Ю. Влияние формы поверхности крыла на отрыв потока // Теплофизика и аэромеханика. 2003. Т. 10, № 2. С. 205–213.

3. Павленко А. М., Занин Б. Ю., Катасонов М. М., Зверков И. Д. Преобразование структуры отрывного течения с помощью локального воздействия // Теплофизика и аэромеханика. 2010. Т. 17, № 1. С. 17–22.

Научный руководитель – д-р техн. наук Б. Ю. Занин.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДВЕСТНИКОВ ФРОНТОВ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ПРИ ЕГО ИМПУЛЬСНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

П. А. Мотырев, М. М. Катасонов
Новосибирский государственный университет
Институт теоретической и прикладной механики СО РАН

В последние годы детально рассматривается потенциальная возможность существенного снижения сопротивления обтекаемых тел путем затягивания ламинарно-турбулентного перехода в пограничном слое методами активного управления пристенным течением. Такие методы, например, с использованием микроэлектромеханических систем (MEMS), предполагают локальное импульсное воздействие на вихревые возмущения, присутствующие в слое сдвига на ранних этапах их развития [1]. Однако в случае импульсного воздействия, в пограничный слой вводится возмущение с широким спектром частот, часть из которых попадает в область неустойчивости течения (если таковая имеется). В результате в пограничном слое возникает волновой пакет, который будет быстро нарастать ниже по потоку и может привести к образованию турбулентного пятна, т.е. положительного эффекта управления не будет достигнуто. Данное явление (волновой пакет) получило название “предвестник”, поскольку предшествует фронту локализованного возмущения (резкому изменению скорости) [2].

В работе изучаются волновые пакеты – предвестники, возникающие в областях, предшествующие резкому изменению локальной скорости на фронтах продольного возмущения. Возмущения генерировались методом вдува/отсоса или вводились из внешнего потока. Эксперименты проводились в контролируемых условиях, в аэродинамической трубе МТ-324 ИТПМ СО РАН на модели прямого крыла при различном уровне турбулентности набегающего потока в рабочей части.

Работа поддержана грантами: РФФИ (08-01-00027), Президента РФ по поддержке ведущих научных школ РФ (НШ-454.2008.1), Министерства образования и науки РФ РНП.2.1.2.541.

1. Бойко А. В., Грек Г. Р и др. Возникновение турбулентности в пристенных течениях. Новосибирск: Наука. Сиб. издат. фирма, 1999.

2. Горев В. Н., Катасонов М. М., Козлов В. В., Мотырев П. А. Экспериментальное исследование предвестников локализованных возмущений пограничного слоя при повышенной степени турбулентности. Теплофизика и аэромеханика. 2009. Т. 16. № 4. С. 573-581

Научный руководитель – д-р. физ.-мат. наук М. М. Катасонов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В МИКРОГОРЕЛОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ

А. В. Назаров

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

Развитие компактных устройств требует от источников энергии компактности и высокой удельной мощности. Устройства на основе малоразмерной камеры сгорания и преобразователя тепловой энергии горения в электрическую удовлетворяют этим требованиям. Фактически, такие устройства имеют большую энергоёмкость, в отличие от традиционных элементов.

Горение – один из самых эффективных способов преобразования химической энергии. Устойчивое горение требует предварительного нагрева топлива до температуры воспламенения, но в малых размерах энергетического двигателя возникают множество проблем с поддержанием устойчивого процесса горения. Для решения этих проблем необходимы детальные исследования параметров пламени при горении в микрогорелочных устройствах.

В работе исследуются некоторые свойства пламени в модельном горелочном устройстве. Выяснение устойчивости пламён в зависимости от различных расходов топлива и воздуха; определение температурного фронта пламени [1–4]: являются основными целями данной работы. В качестве топлива использовалась пропан-бутановая смесь. Воздух подавался от компрессора с ресивером 75 л. Расходы топлива и воздуха контролировались с помощью ротаметров Aalborg. Поле температуры пламени получено термопарным датчиком и теневым прибором Теплера [1,2,4].

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

1. Л. А. Васильев, Теневые методы, «Наука», 1968.

2. С. А. Аbruков, Теневые и интерференционные методы исследования оптических неоднородностей, Изд-во Казанск. ун-та, 1962.

3. Р. У. Ланденбург, Б. Льюис, Р. Н. Пиз, Х. С. Тейлора, Физические измерения в газовой динамике и при горении, Иностр. лит., 1957

4. М. М. Скотников, Теневые количественные методы в газовой динамике, «Наука», 1976.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. И. Шторк.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПОТОКА ГЕЛИЯ В НАНОКАНАЛАХ

Д. С. Ожгибесов

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

В данной работе проведено молекулярно-динамический расчет движения газодинамического потока гелия в наноканалах цилиндрической формы. В наноканал цилиндрической формы с заданными радиусом и длиной с помощью метода прямого статистического моделирования вбрасывались атомы гелия из емкости с заданными параметрами газа. В работе исследовалось как истечение газа в вакуум, так и возможность встречного потока. Температура газа во всех расчетах предполагалась равной 300 °К. Исследования проводились в интервалах параметров: давление – от 0.1 до 5 атмосфер, длина каналов – от 100 Å до 10 μ, радиусы канала – от 20 до 500 Å. (Особое внимание уделено каналам с радиусом 110 Å, т.к. это размеры каналов в мембранах, выпускаемых промышленностью в настоящее время).

Взаимодействие атомов гелия описывалось потенциалом Леннарда-Джонса с константами, найденными в эксперименте. Взаимодействие гелия со стенками канала проведено как для случая упругого отражения, так и для случая теплообмена со стенками канала. В случае упругого взаимодействия использовалась отталкивательная ветвь потенциала Леннарда – Джонса. Этот случай является тестовым в иерархии физических моделей. В случае учета теплообмена использовалась комбинированная модель метода молекулярной динамики и статистического моделирования. Траектории атомов рассчитываются в рамках механики Гамильтона, а отражение от стенок моделируется с помощью метода Монте-Карло для распределения Максвелла с температурой стенок.

Для определенного интервала геометрических размеров канала и давлений на входных сечениях обнаружен эффект запирания канала. После многочисленных расчетов была произведена одномерная интерполяция зависимостей тангенса угла наклона от давления и длины канала. В результате которой получены формулы зависимости $Tg\alpha(L)$ при постоянных давлениях и $Tg\alpha(P)$ при постоянных длинах канала, в результате которой были получены многочлены, описывающие эти зависимости.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук И. Ф. Головнев, акад. РАН В. М. Фомин.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ОТРЫВНЫХ ТЕЧЕНИЙ ДО И ПОСЛЕ ЛОКАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ МАЛЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА

А. М. Павленко

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

Данная работа имела одну из целей экспериментальное изучение вихревых структур, возникающих внутри области срыва на моделях прямых крыльев и в зависимости от геометрии крыла, скорости набегающего потока, углов скольжения и атаки. Дело в том, что данных о влиянии угла скольжения на вихревую картину отрывного течения пока известно очень мало. В тоже время, малоразмерные летательные аппараты могут попадать одновременно в режим срыва и в режим скольжения из-за большого влияния порывов ветра на их обтекание и поэтому такие режимы требуют внимательного изучения. Другой целью было исследование возможностей управления отрыва потока с помощью локального воздействия (выступы различной формы и локальный вдув воздуха).

Эксперименты проводились в малотурбулентных дозвуковых аэродинамических трубах Т-324 и МТ-324 Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения РАН в городе Новосибирске. Данные о структуре и характере обтекания вблизи верхней поверхности профиля крыла были получены с помощью визуализации масляным покрытием (смесью масла, керосина и порошка двуокиси титана) и термоанемометрии.

Проведены экспериментальные исследования вихревой структуры отрывных течений на прямых и скользящих крыльях.

Продемонстрированы процессы перестройки структуры вихревого течения на поверхности моделей крыльев разного удлинения в зависимости от угла скольжения. Проведены экспериментальные исследования обтекания модели крыла, установленной под разными углами атаки, в которых изучались возможности управления обтеканием с помощью локального вдува воздуха.

Проведены экспериментальные исследования, в которых изучались возможности управления обтеканием с помощью локального воздействия в зависимости от угла скольжения крыла.

Работа поддержана грантами Президента Российской Федерации (НШ-454.2008.1 и МК-420.2008.1) и грантом Министерства образования и науки РФ (РНП. 2.1.2.541).

Научный руководитель – д-р техн. наук Б. Ю. Занин.

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА НАНООБЪЕКТЫ СО СТОРОНЫ ГАЗОВОГО ПОТОКА

Д. В. Первов

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН
Новосибирский государственный университет

Наноструктуры занимают промежуточное место между молекулами и микроскопическими объектами, их размеры варьируются в диапазоне от 1 до 100 нм по одному из измерений. На таких масштабах физико-химические свойства вещества зависят от их размеров и формы. Актуальность исследования обусловлена задачами нанесения различного рода покрытий, напыления веществ (CVD), проблемами микроэлектроники, связанными с заполнением нанотренчей, необходимым для разработки трехмерных электронных схем и проблемами транспортировки нанопорошков. Многие из этих задач тесно связаны со взаимодействием нанообъектов с газовыми потоками.

На сегодняшний день отсутствует адекватная модель, описывающая силу, которая действует со стороны потока на наночастицы. Данная работа ставит своей целью в какой-то мере попытаться восполнить этот пробел. Прямых динамических экспериментов по изучению нанокластеров на данный момент нет, поэтому метод молекулярной динамики сейчас является единственным доступным методом исследования.

В настоящей работе исследована иерархия физических моделей кластера для выявления различных физических механизмов, которые оказывают влияние на среднюю силу, действующую на кластер. Рассмотрены следующие модели. Модель сферы с зеркальным отражением от поверхности, модель кластера с отталкивающим потенциалом и модель реального медного кластера с ГЦК-структурой. Для всех моделей изучались случаи реального и идеального газов. В качестве газа использовался аргон. Получено аналитическое решение для свободномолекулярного режима для модели упругой сферы, с которым проведено сравнение результатов моделирования. Наше исследование показало, что учет внутренней структуры кластера существенным образом влияет на среднюю силу. Предложена аналитическая зависимость, описывающая силу, действующую на реальный медный кластер, как функцию давления, температуры, скорости потока и линейного размера кластера. Обнаружен эффект насыщения кластера аргоном.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук, доцент И. Ф. Головнев, д-р физ.-мат. наук, акад. РАН В. М. Фомин.

ОБРАЗОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ПОЛОСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ ОБЪЕМНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ РАСПЛАВА

А. А. Пильник

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

Известно, что в процессе кристаллизации расплав интенсивно кавитирует, т. е. в объеме расплава формируются кавитационные полости. Далее эти полости захватываются твердой фазой, в результате чего затвердевший материал имеет пористую структуру. Один из возможных механизмов кавитации газонасыщенного расплава связан с тем, что так как растворимость газа в твердой фазе существенно меньше, чем в жидкой, растворенный в расплаве газ будет вытесняться движущимися фронтами кристаллизации (так называемый процесс сегрегации газа). Исследованию данного вопроса посвящено большое количество работ. Однако в недостаточной степени исследован механизм кавитации расплава, связанный с усадкой вещества в процессе затвердевания. Последняя ведет к формированию в объеме еще незакристаллизованного расплава больших отрицательных давлений и, как следствие, к зарождению и развитию в нем кавитации.

В работе представлена кинетическая модель данного процесса. Для описания объемной кристаллизации расплава считается, что на границе рассматриваемого объема осуществляется постоянный теплоотвод так, что если бы не было тепловыделения, обусловленного фазовым переходом, расплав охлаждался бы с постоянной скоростью. Так как динамические процессы протекают гораздо быстрее тепловых, поле растягивающих напряжений, формирующееся в объеме расплава, считается однородным в любой момент времени. Нуклеация зародышей кавитации и кристаллизации носит как гомогенную, так и гетерогенную природу. При этом наличие гетерогенной нуклеации зародышей кристаллической фазы из рассмотрения можно исключить, рассматривая кристаллизацию малых объемов, в которых вероятность нахождения примесных частиц или микропузырей ничтожно мала. В данной работе найдены численные решения задачи на примере кавитации кристаллизующегося расплава металла. Показана существенная зависимость микроструктуры затвердевшего материала от скорости охлаждения.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. А. Чернов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ХЛАДАГЕНТА R-409A В ПАРОВОЙ ФАЗЕ

Е. П. Расчектаева

Институт теплофизики им. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

Хладагент R-409A является перспективным заменителем для R-12 с точки зрения простоты, быстроты замены, низкой стоимости и улучшения рабочих характеристик. Он представляет смесь 15 мас. % C2F2ClH3 (R-142b), 25 мас. % C2F4ClH (R-124) и 60 мас. % CF2ClH (R-22) и относится к группе переходных хладагентов. К сожалению, не удалось обнаружить справочных данных по теплофизическим свойствам R-409A в литературе.

В работе представлены результаты измерений теплопроводности (λ) R-409A в паровой фазе в интервале температур 306...425 К и давлений 0,1...1,4 МПа, а также их обработки и статистического анализа. Эксперименты были выполнены стационарным методом коаксиальных цилиндров [1].

Погрешность экспериментальных данных составляла 1,5 – 2,5 % (погрешность измерения температуры – 0,05 К, давления не более 4 кПа). Результаты измерений обрабатывались эмпирической зависимостью:

$$\lambda(T, p) = a_0 + a_{10} \cdot \frac{T}{100} + a_{20} \cdot \frac{100}{T} + p \cdot (a_{11} \cdot \frac{T}{100} + a_{21} \cdot \frac{100}{T}) + p^2 \cdot (a_{12} \cdot \frac{T}{100} + a_{22} \cdot \frac{100}{T}), \quad (1)$$

где T – в °К, p – в бар, λ – в мВт/(м·К)

Отклонения экспериментальных данных от аппроксимирующей зависимости (1) не превышают 1,5%, а среднеквадратичное отклонение составляет 0,4%.

В работе подтверждено, что зависимость (1) можно применить в широкой области параметров от атмосферного давления до давления на линии конденсации. Используя уравнение (1) рассчитаны справочные таблицы температурных и барических зависимостей теплопроводности хладагента R-409A.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 07-08-00295).

1. Верба О. И., Груздев В. А. Теплопроводность гептафторпропана HFC 227ea // Теплофизика и аэромеханика. – 2002. – Т. 9, № 3. – С. 467 – 476.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук С. В. Станкус.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННОЙ РЕЗЬБЫ МЕТОДОМ СВАРКИ ВЗРЫВОМ ПРИ ПОМОЩИ ЭМУЛЬСИОННОГО ВВ

С. И. Рафейчик

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН
Новосибирский государственный университет

Рассматривается практическая задача о применении эмульсионных взрывчатых веществ (ЭмВВ) для восстановления изношенной резьбы на осях колесных пар железнодорожных товарных вагонов при помощи взрыва. Подобная задача была решена ранее в Институте сварки им. Е. О. Патона на основе стандартного аммонита, содержащего мощные вторичные ВВ, тротил и гексоген. Применение ЭмВВ для этих целей представляется более технологичным, поскольку они имеют ряд полезных свойств по сравнению с другими ВВ, а именно: состоят из двух невзрывающихся компонент, смешение которых можно выполнять на месте проведения взрывных работ; имеют низкую ударную и термическую чувствительность; дешевы в изготовлении; экологически безопасны.

Восстановление резьбы производится высверливанием изношенного металла и вваривания вместо него толстостенной стальной трубки. Материал оси – высокоуглеродистая осевая сталь, материал плакирующей трубки – пластичная сталь 20. Высокая пластичность материала трубки необходима для предотвращения ее разрушения при внутреннем метании и получения более качественного сварного шва. В работе исследуется восстановление стандартной резьбы М20 методом сварки взрывом. Альтернативный метод восстановления резьбового соединения – удаление изношенной резьбы и термическая наплавка необходимого слоя стали – трудоемок, неэкономичен и ухудшает свойства осевой стали.

На основе [1] был определен диапазон изменения параметров, при которых реализуется качественная сварка. В модельных экспериментах показана возможность использования для этой цели цилиндрического заряда специально разработанного композиционного эмульсионного ВВ (скорость детонации 3,5 км/с, плотность 1,32 г/см³) с линейной массой около 1,4 г на 1 см длины трубки. В параллельной схеме реализовано прочное соединение плакируемой трубки с внешней втулкой с «глухим» отверстием в режиме сварки взрывом. Размеры внутреннего канала после взрыва позволяют выполнить необходимую резьбу М20×2,5.

1. Симонов В. А. Области сварки взрывом. Основные параметры и критерии, СО РАН, Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева. 1995.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент
В. В. Сильвестров.

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА И КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ НА РАЗРЫВ ПЛЕНКИ ЖИДКОСТИ, ДВИЖУЩЕЙСЯ ПО СЛАБОНАКЛОНЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ПРИ НАГРЕВЕ СО СТОРОНЫ ПОДЛОЖКИ

А. А. Семенов

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

До сих пор в литературе исследовались либо движущаяся пленка [1], либо неподвижный слой [2] жидкости, однако нет исследований, которые охватывали бы оба этих явления. Поэтому одна из задач работы состоит в том, чтобы связать разрыв стекающей пленки жидкости с разрывом горизонтально покоящегося слоя жидкости, при нагреве со стороны подложки. Вторая основная задача заключается в выявлении влияния краевого угла смачивания на разрыв нагреваемого пленки жидкости со стороны подложки [3].

Краевой угол смачивания можно определять используя в качестве объекта исследования каплю жидкости на заданной подложке. В данной работе проведены измерения статического и динамического (натекающего и оттекающего) краевого угла смачивания капли жидкости на различных поверхностях. Используемые поверхности были различной шероховатости, с разным краевым углом смачивания и разным гистерезисом краевого угла смачивания. Полученные значения краевого угла смачивания лежат в диапазоне от 0 до 140 градусов. Получены данные по зависимости динамического краевого угла смачивания от скорости накачки жидкости.

В данный момент проводятся эксперименты по термокапиллярному разрыву неподвижного слоя жидкости и стекающей пленки жидкости с использованием тех же подложек.

1. Kabov O. A. An experimental modeling of gravity effect on rupture of a locally heated liquid film.// Microgravity sci. technol., XIX-3/4, pp. 174-177, 2007.

2. Burelbach J. P., Bankoff S. G., Davis S. H., 1990, Steady thermocapillary flows of thin liquid layers. II. Experiment, Phys. Fluids A 2, 321-333.

3. Зайцев Д. В., Кабов О. А., Чеверда В. В., Буфетов Н. С. Влияние волнообразования и краевого угла смачивания на термокапиллярный разрыв стекающей пленки жидкости.// Теплофизика высоких температур, Т. 42, №3, стр. 449-455, 2004.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Д. В. Зайцев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НАНОЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

М. А. Серебрякова

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

В настоящее время существует большое количество экспериментальных исследований, посвящённых теплопроводности наножидкостей, однако полученные данные не только не описываются теоретически, но зачастую противоречат друг другу. Не меньшие трудности возникают и при создании физических моделей, описывающих тепловые явления в наножидкостях.

Сказанное выше определяет важность проведения экспериментальных исследований теплопроводности наножидкостей и сравнения с теоретическим описанием. Главную роль в сравнении играет классическая теория Максвелла. Она предсказывает, что эффективная теплопроводность суспензий, содержащих неподвижные сферические частицы, возрастает с увеличением объёмной концентрации твёрдых частиц. Поэтому для сравнения необходимо исследовать теплопроводность наножидкостей с разными объёмными концентрациями наночастиц. Для этого был использован Мобильный прибор для экспрессного сопоставления теплового сопротивления наножидкостей. Датчиком полезного сигнала в приборе служит зонд – платиновая проволочка для термометра сопротивления, закреплённая между двумя электрическими выводами. Для его калибровки значения для базовых жидкостей, получаемые с прибора сопоставлялись с реальными значениями коэффициентов теплопроводности этих жидкостей. После калибровки полученные с прибора значения коэффициентов теплопроводности для наножидкостей можно сравнивать с теоретическими значениями.

При выполнении работы были синтезированы наножидкости на основе этиленгликоля с использованием разных объёмных концентраций наночастиц оксида алюминия. Герметично закрытые пробирки со смесью основной жидкости и необходимым объёмом наночастиц были помещены в ультразвуковую баню. А после равномерного распределения наночастиц в жидкости, помещены в термостат. Измерена теплопроводность полученных наножидкостей. В работе приведено сопоставление теоретических и экспериментальных значений коэффициентов теплопроводности наножидкостей. Экспериментально показано, что с увеличением объёмной концентрации наночастиц растёт теплопроводность наножидкости в соответствии с теорией Максвелла.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук С. А. Новопашин.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ПЕРИОДИЧЕСКОГО ОТРЫВНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПАРАЛЛЕЛЬНОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

А. И. Скиба

Новосибирский государственный университет

Проблема гидродинамической неустойчивости и возникновения турбулентности в сдвиговых течениях на протяжении многих лет остается одной из центральных в механике жидкости и газа как в нашей стране, так и за рубежом. Решение данной проблемы позволило бы разработать надежные, более точные по сравнению с существующими, методы предсказания аэродинамических характеристик движения тел и предложить новые подходы к управлению течениями, основанные на углубленном понимании явлений, происходящих в пристенной зоне потока.

Работа направлена на разработку метода расчета и получение расчетных данных по линейной устойчивости пространственно-периодического отрывного течения в параллельном приближении. Распределение средней скорости потока входит в линеаризованные уравнения устойчивости как параметр. Средние характеристики течения можно либо рассчитывать, либо получать экспериментальными методами. В данной работе для выполнения расчетов используются полученные экспериментально распределения средней скорости отрывного течения, реализуемого за пространственно-периодической обратной ступенькой.

До настоящего времени подобные исследования проводились только для двумерных отрывных течений (с профилем средней скорости однородным по поперечной координате). Результаты таких расчетов показали хорошее согласование с характеристиками устойчивости отрывных течений, полученных экспериментально. В рамках поставленной задачи были созданы алгоритмы и компьютерные программы для расчета характеристик устойчивости в гидродинамических течениях неоднородных по двум пространственным координатам. Проведено сравнение с существующими экспериментальными данными по линейной устойчивости отрывного течения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, код проекта 10-08-00276-а.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук. А. В. Бойко.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯ СКОРОСТИ В МОДЕЛИ ОТСАСЫВАЮЩЕЙ ТРУБЫ ГИДРОТУРБИНЫ

С. Г. Скрипкин, И. В. Литвинов
Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

В отсасывающих трубах (ОТ) гидротурбин часто возникают неустойчивости течения в виде прецессии вихревого жгута в режиме сильной недогрузки гидротурбинного агрегата [1]. В результате, такая неустойчивость потока генерирует мощные пульсации, которые могут быть опасными для оборудования ГЭС.

На базе ИТ СО РАН был создан замкнутый гидродинамический контур для исследования процессов, происходящих в модели ОТ. Рабочий участок контура спроектирован по геометрии TURBINE-99 (Т-99). Эта геометрия повторяет все основные особенности натуральных ОТ и часто используется для тестирования численных моделей течения в отсасывающих трубах гидротурбин, а также хорошо адаптирована к оптическим методам исследования потока. Конструкция рабочего участка, состоящего из сменных частей, позволяет также достаточно оперативно изменять внутреннюю геометрию канала. Это дает преимущество при исследовании влияния граничных условий на характеристики течения и оптимизации геометрии. Отметим, что по геометрии Т-99 имеется большое количество расчетных работ [2], однако экспериментальные данные ограничены характеристиками потока, полученными в отдельных измерительных сечениях.

В ходе работы были получены данные по визуализации потока в различных сечениях отсасывающей трубы фото- и видеокамерами, а также получены поля скоростей измеренные современными оптическими методами PIV и LDA.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

1. Губин М. Ф. Отсасывающие трубы гидроэлектростанций. – М.: Энергия, 1970, – 270 С.

2. Cervantes M. J., Engström T. F., Gustavsson L. H., Proceedings of the third IAHR/ERCOFTAC Workshop on draft tube flows. Turbine-99 III // Lulea University of Technology, 2005.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. И. Шторк.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ СЕРЕБРА В РЕЖИМАХ НАПЫЛЕНИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПЛЕНОК

С. В. Старинский

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

Наноструктуры и наноструктурные пленки на основе серебра обладают уникальными свойствами (оптическими, каталитическими, бактерицидными и др.), что делает их привлекательными для использования в науке и технологиях. Одним из наиболее перспективных методов синтеза нанокластеров благородных металлов является импульсная лазерная абляция (ИЛА).

Данная работа посвящена исследованию ИЛА серебра в условиях характерных для напыления наноструктурных пленок (длина волны 532 нм, плотность энергии излучения 0,3–10 Дж/см²). Продукты абляции осаждались на кремневой подложке. Средний размер осажденных нанокластеров составил 5 нм и 2.5 нм при испарении серебра в вакуум и буферный газ (кислород, $P = 50$ Па), соответственно. Найдено, что размер полученных наноструктур слабо зависит от плотности энергии излучения, а также от ориентации подложки в лазерном факеле.

Для понимания процесса формирования наноструктур методом ИЛА, было проведено многопараметрическое исследование абляции серебра с использованием ряда взаимодополняющих методик. Методом времяпролетной масс-спектрометрии получены данные о выходе и составе продуктов абляции в вакуум (атомарное серебро), о средней скорости осаждаемых частиц (~ 2,5 км/с для нейтральных атомов и ~ 6 км/с для ионов), а также оценена степень ионизации плазмы (~ 10% вблизи порога абляции и ~ 30% в режиме развитой абляции). С помощью прямых весовых измерений удаленной массы получены систематические данные о глубине абляции в зависимости от плотности энергии излучения. Зондовым методом с использованием кварцевых резонаторов найдено, что угловые распределения частиц лазерного факела для данных режимов ИЛА слабо зависят от плотности энергии излучения.

Проведен теоретический анализ ИЛА на основе тепловой модели испарения с учетом гауссова распределения энергии в лазерном пучке и поглощения энергии излучения плазмой продуктов абляции. Расчетные результаты согласуются с экспериментальными данными, что свидетельствует о тепловом механизме испарения серебра в данных условиях.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук А. В. Булгаков.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОСТРУЙНЫХ ТУРБИННЫХ МАШИН С ПРОНИЦАЕМОМ РОТОРОМ

С. А. Сюняков

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН
Новосибирский государственный университет

Отличительной особенностью данного типа турбинных машин с ротором из пронцаемого материала, является удобство в организации тепломассообменных процессов на развитой поверхности ротора. С преимуществом в малошумности, и простоте изготовления по сравнению с лопастными роторами, что делает перспективным их использование в составе многофункциональных роторных устройств.

В работе [1] описано экспериментальное исследование турбинного варианта машины с пронцаемым ротором, изготовленным из высоко пронцаемого ячеисто-пористого материала (ВПЯПМ).

Рассмотрены варианты турбины с подводом газа через улитку с последующим аксиальным выходом и вариант турбозежктора, где газ подавался на поверхность ротора турбины через узкое отверстие диаметром до 2 мм под давлением до 3 атм. В этом случае поток атмосферного воздуха, в результате вращения ротора, аксиально входит в турбину и перемешивается с подведенным газом, после чего тангенциально выходит из турбины.

Тенденции в поведении КПД [1] в зависимости от числа оборотов демонстрирует возможность дальнейшего его повышения, возможно до приемлемых величин с точки зрения силовых машин типа газотурбинных установок. Однако это становится осуществимым в случае повышения окружной скорости ротора. Что может быть достигнуто с заменой ВПЯПМ на перфорированные диски, потенциально допускающие повышение окружных скоростей (по условию прочности) в несколько раз.

Представлен также альтернативный вариант повышения КПД при меньших окружных скоростях. Заключающийся в дополнение турбины до двухроторной конструкции.

Исследования для перфорированных дисков проведены на той же установке, что и в работе [1] и примерно в том же диапазоне параметров струи, что позволяет провести сравнение их оценки эффективности.

I. V. K. Baev, A. N. Baznaykin, A. Y. Korotkih, A. S. Siuniakov, Interaction of jets permeable barriers and rotating disks, Doc on 15th ICMAR-2010, Novosibirsk, 1-6 November, 2010.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. В. К. Баев.

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА ПО МЕТОДУ ГАРМАНА И КЛАССА, РОДЖЕРА И САТЧЕЛЛА

М. В. Тараканова, В. А. Филлимонов

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Данная работа посвящена определению важной характеристики фрактального случайного процесса – коэффициента диффузии, характеризующего скорость роста дисперсии процесса.

Впервые вопрос о построении эффективных оценок коэффициента диффузии возник в работах М. Гармана и М. Класса [1], а позднее – в работах Л. Роджера и С. Сатчелла [2]. Указанные оценки основаны на измерении трех характерных значений процесса на временном интервале, его минимального и максимального значений, а также значения на границе интервала.

Поскольку общая постановка задачи достаточно сложна, в своей работе мы рассматриваем частный случай фрактального случайного процесса, а именно – винеровский процесса с равномерным сносом, являющегося математической моделью броуновского движения. Данный процесс характеризуется отсутствием корреляции между приращениями и гауссовой плотностью вероятности.

В исходных работах [1] и [2], статистические характеристики классических оценок Роджера и Сатчелла и Гармана и Класса, такие как смещение и эффективность, были изучены только для случая винеровского случайного процесса при отсутствии сноса. Оценки же для произвольной скорости сноса не проводились из-за отсутствия общего выражения совместной плотности вероятности входящих в оценки отчетов процесса. В настоящей работе проводится аналитический вывод указанной совместной плотности вероятности, которая позволила изучить не только среднее, дисперсию данных оценок, но также все статистические характеристики классических оценок Гармана и Класса и Роджера и Сатчелла. В работе была получена, функция распределения указанных оценок, через которую выражаются все остальные характеристики, такие как мода, медиана и квантили доверительных интервалов.

1. Parkinson M. The Extreme Value method for Estimating the Variance of the Rate of Return//Journal of business. 1980.V 53. P 61-65

2. Garman M., Klass M.J. On the Estimation of Security Price Volatilities From Historical Data.// Journal of Business. 1980.V 53. P 67-78.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. И. Саичев.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ОБТЕКАНИЯ ПРОФИЛЯ NASA0015 В УСЛОВИЯХ КАВИТАЦИИ

М. В. Тимошевский

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

Течения в проточных частях гидротурбин, как правило, являются нестационарными и зачастую сопровождаются кавитационными явлениями. Повышение ресурса работы, увеличение КПД гидроагрегатов, а также степени их безопасности невозможно без детального изучения гидродинамических процессов, происходящих в них. В зависимости от условий (форма обтекаемой поверхности, скорость и давление в потоке и т.д.) различают многообразие типов кавитации (пузырьковую, вихревую, облачного типа, суперкавитацию и т.д.). С точки зрения построения и верификации современных математических моделей, описывающих возникновение и развитие кавитации, основной интерес представляет исследование кавитационных течений в канонических геометрических условиях (сопла Вентури, модельные профили). Данная работа посвящена экспериментальному изучению нестационарного турбулентного обтекания двумерного канонического профиля, в том числе в условиях кавитации.

Исследования проводились на профиле NASA0015 с длиной хорды $L_{ref} = 100$ мм при различных углах атаки α от 0° до 9° . В ходе экспериментов число Рейнольдса находилось в пределах $1 \cdot 10^6 \div 2 \cdot 10^6$. Число кавитации изменялось от 0,5 до 2,4. Для измерения скорости течения применялась методика PIV, интегрированная в измерительный комплекс «ПОЛИС», управляемый программным пакетом «ActualFlow». Также для изучения динамики кавитационных каверн была проведена визуализация течений с помощью высокоскоростной камеры.

В результате были получены пространственные распределения средней скорости потока и всех статистических моментов пульсаций скорости жидкости до третьего порядка включительно, что является необходимой информацией для развития и верификации современных подходов моделирования. Кроме того, с помощью визуализации были определены характерные числа Струхала для паровых каверн при «облачном» типе кавитации на профиле.

В работе показано, что возникновение кавитации «облачного» типа приводит к формированию турбулентного следа сразу за лобовой точкой гидрокрыла, значительному увеличению поперечных размеров следа, а также к интенсификации турбулентных пульсаций, вследствие генерации крупномасштабных вихревых структур в области паровой каверны.

Научный руководитель – д-р. физ.-мат. наук Д. М. Маркович.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ПЕРЕДНЕЙ КРОМКЕ СКОЛЬЗЯЩЕГО КРЫЛА

С. Н. Толкачев, В. Н. Горев

Институт теоретической и прикладной механики

им. С. А. Христиановича СО РАН

Новосибирский государственный университет

В настоящее время остро стоит вопрос снижения сопротивления летательных аппаратов, что вызывает повышенный интерес к изучению ламинарно-турбулентного перехода. Большинство современных самолетов используют скользящие крылья, при обтекании которых формируется трехмерный пограничный слой, имеющий более сложный сценарий ламинарно-турбулентного перехода. В условиях благоприятного градиента давления на передней кромке скользящего крыла в пограничном слое возникает неустойчивость поперечного течения (Cross-flow), которая проявляется в виде продольных вихрей [1]. Далее на них возникают вторичные высокочастотные возмущения, приводящие к ламинарно-турбулентному переходу.

Эксперимент проводился в малотурбулентной аэродинамической трубе Т-324 ИТПМ с рабочей частью длиной 4000 мм и поперечным сечением 1000×1000 мм на модели скользящего крыла, имеющей цилиндрическую переднюю кромку и угол скольжения 45°, а также отверстие, через которое вводились возмущения. Угол атаки задавался близким к нулю таким образом, чтобы возмущение в процессе развития смещалось на верхнюю плоскость. В проведенных экспериментах возмущения вводились методом порционного вдува, задаваемого электромагнитным клапаном, управляемым с компьютера. Для предотвращения отрыва потока на участках максимального утолщения крыла были использованы турбулизаторы. Положение термоанемометра задавалось автоматическим координатным устройством. Скорость потока составляла 4.9 м/с.

Характер распределения возмущения скорости (область дефекта, окруженная двумя областями превышения скорости) говорит о развитии в пограничном слое противовращающейся пары продольных вихрей.

В результате эксперимента было установлено, что в докритических режимах ($Re = 56.8$ вычисленное по толщине вытеснения) поведение стационарного возмущения зависит от его амплитуды.

Обнаружены дестабилизирующее влияние стационарной моды на высокочастотные возмущения и зависимость декремента затухания нестационарных мод от частоты возмущения.

1. Reed H. L., Saric W. S. Stability of three-dimensional boundary layers. Ann. Rev. Fluid Mech. 1989. Vol. 21. P. 235–284.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. Н. Горев.

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ НАД ПОДАТЛИВЫМ ПОКРЫТИЕМ ИЗ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОЙ РЕЗИНЫ

В. А. Филимонов

Новосибирский государственный университет

До сих пор все расчеты устойчивости потоков над вязкоупругими покрытиями выполнялись для модельных покрытий в предположении независимости модуля упругости от частоты и независимости или линейной зависимости коэффициента потерь от частоты [1]. Экспериментальные данные о реальных зависимостях (для кремнийорганических резин) были получены лишь недавно [2].

В данной работе представлены результаты расчетов о распространении вихревых возмущений в пограничном слое Блазиуса над реальным податливым покрытием в рамках линейной задачи устойчивости в плоскопараллельном приближении. Данные о поведении вязкоупругих свойствах покрытия в зависимости от частоты (модуле упругости и коэффициенте потерь) получены в ходе специальных экспериментов. Для проведения расчетов эти данные были сглажены и аппроксимированы аналитическими функциями.

Сравнение результатов расчетов с данными об устойчивости пограничного слоя над твердой поверхностью показывают, что для затягивания перехода к турбулентности необходимо использовать более мягкие покрытия, например, в качестве внутренних слоев многослойного покрытия.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, код проекта 10-08-00276-а.

-
1. K. S. Yeo The stability of boundary-layer flow over single- and multy-layer viscoelastic walls.
 2. V. M. Kulik Measurement of dynamic properties of viscoelastic materials.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. А. В. Бойко.

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ПОРИСТОСТИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГИПЕРЗВУКОВОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

Т. А. Чимытов, Д. А. Бунтин, С. В. Лукашевич, А. Н. Шиплюк
Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН
Новосибирский государственный университет

Ламинарно-турбулентный переход оказывает существенное влияние на полет летательного аппарата. Таким образом, возникает необходимость в разработке и исследовании методов управления ламинарно-турбулентным переходом. Одним из методов управления при гиперзвуковых течениях является демпфирование акустических возмущений (так называемая вторая мода), являющихся наиболее неустойчивыми в таких течениях, при помощи ультразвук-поглощающих покрытий (УПП). Экспериментальные исследования устойчивости пограничного слоя на пористых покрытиях, используемые в качестве УПП, показали, что такие покрытия могут эффективно подавлять возмущения второй моды, приводя, таким образом, к задержке ламинарно-турбулентного перехода.

Целью данной работы является получение дополнительных экспериментальных данных по устойчивости пограничного слоя на пористых покрытиях. Настоящие эксперименты проведены в аэродинамической трубе «Транзит-М» ИТПМ СО РАН при числе Маха набегающего потока $M_\infty = 6$. Проведены параметрические исследования влияния толщины пористого покрытия и температурного фактора на эффективность поглощения возмущений второй моды. Обнаружена зависимость эффективности поглощения второй моды от глубины пористого покрытия в линейной области развития возмущений: существует наиболее эффективное значение глубины; при большей глубине коэффициенты роста второй моды начинают увеличиваться, при меньшей глубине пористое покрытие является существенно не эффективным. В предтурбулентном режиме течения в пограничном слое пористое покрытие также поглощает пульсации второй моды, однако это уже не играет существенной роли для задержки перехода, поскольку в данном режиме течения существенную роль начинают играть вихревые возмущения, которые не подавляются при помощи УПП. Толщина пористого покрытия в данном режиме течения играет меньшую роль – начиная с определенного значения, коэффициенты роста не зависят от толщины покрытия. Изменение температурного фактора (нагрев модели) приводит к снижению эффективности пористых покрытий.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук Д. А. Бунтин;
д-р физ.-мат. наук А. Н. Шиплюк.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОБЛАЧНЫХ КАПЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА МИКРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЛАКОВ

В. В. Чукин, А. С. Платонова, З. С. Савина

Российский государственный гидрометеорологический университет,
г. Санкт-Петербург

Актуальность работы определяется существующим интересом к особенностям изменения современного климата окружающей среды, в частности, глобального поля облачности.

Облака оказывают значительное влияние на радиационный баланс Земли и атмосферный гидрологический цикл, что обуславливает их чрезвычайно важную роль в атмосфере. Они контролируют местную погоду и уровень загрязнения воздуха, воздействуя таким образом на долгосрочные климатические изменения в местном, региональном и глобальном масштабах. Поэтому, оценивание микрофизических свойств облачности в данное время является весьма интересной и актуальной задачей.

В рамках данного доклада мы описываем основные положения предложенной нами математической модели кристаллизации облачных капель. Результаты моделирования сравниваются с экспериментальными данными, полученными ранее, для того чтобы показать обоснованность и успешность ее применения. Используя данные, полученные с помощью нашей модели, мы рассматриваем результаты расчета таких облачных свойств, как ледность облака, фазовое состояние облачных капель и альбедо облаков.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. В. Чукин.

ВЛИЯНИЕ ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА НА ВОЛНОВОЕ ДВИЖЕНИЕ ПЛЕНОК ЖИДКОСТИ

Е. Н. Шатский

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

Пленочные течения широко распространены в производственных процессах при охлаждении, дистилляции, в пищевой и химической промышленности. В большом количестве случаев нагрев пленки происходит от поверхности, по которой она стекает. Как известно, тепло и массоперенос в пленке зависит от ее толщины. С одной стороны с уменьшением толщины возрастает теплоотдача, но с другой стороны в тонком слое жидкости вероятность разрыва возрастает. При изучении волновых характеристик пленок, исследователи выделяют три зоны: область гладкой пленки, область двумерных волн и область трехмерных волн. Неустойчивость гладкой пленки к двумерным возмущениям и двумерных волн к трехмерным возмущениям рассматривалась как экспериментально, так и теоретически. Исследование течения изотермической пленки жидкости при распаде двумерных волн на трехмерные приведено в работе [1–2]. Показано, что длина волны неустойчивости к поперечным трехмерным возмущениям убывает с ростом числа Рейнольдса.

Однако помимо гидродинамической неустойчивости при течении по нагреваемым поверхностям имеет место термокапиллярная неустойчивость. В работах [3–4] показано, что существует два режима течения пленки: термокапиллярный и термокапиллярно-волновой.

В данной работе проведены экспериментальные исследования температурных и волновых характеристик стекающих пленок жидкости для числа Рейнольдса 10,5. Проведен сравнительный анализ деформации двумерных и трехмерных волн при прохождении нагревателя с различными граничными условиями.

1. Joo S. W., Davis S. H. Instabilities of Three-Dimensional Viscous Falling Films, *J. Fluid Mech.* 1992. V. 242. P. 529-547.

2. Liu J., Schneider J. B., Golub J. P. *Phys. Fluids.* 1995. V.7. N.1. P. 55–67.

3. Кабов О. А., Формирование регулярных структур в стекающей пленке жидкости при локальном нагреве. *Теплофизика и Аэромеханика*, 1998 Т. 5, № 4, с. 597-602.

4. Чиннов Е. А., Кабов О. А., Формирование струйных течений при гравитационном стекании волновой нагреваемой пленки жидкости, *ПМТФ*, 2003, Т. 44, № 5, с.128-137.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Е. А. Чиннов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОГО ПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВА МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

М. В. Шугаев

Новосибирский государственный университет
Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

Лазерно-индуцированный перенос вещества от мишени к подложке по ходу лазерного луча (LIFT) привлекает к себе большое внимание как альтернатива литографическим методам. Данный подход при правильно подобранных параметрах облучения может быть использован для различных классов веществ (металлов, диэлектриков, полупроводников, полимеров, биологических тканей). Для оптимизации технологии LIFT необходимо глубокое понимание взаимосвязи процессов, происходящих в материале при его облучении и на стадии его переноса к подложке.

В рамках данной работы построена модель, основанная на методе молекулярной динамики (МДМ), для изучения процесса LIFT металлических пленок. Для описания взаимодействия фемтосекундных импульсов лазерного излучения с материалом пленки применяется комбинированная ДТМ-МДМ модель, объединяющая двухтемпературную модель (ДТМ) и МДМ [1]. Потенциал взаимодействия между частицами рассчитывается с использованием метода встроженных атомов (EAM), позволяющий учесть влияние на взаимодействие частиц облака свободных электронов. Для описания процесса плавления материала пленки используется анализ локального параметра порядка.

Выполнено численное моделирование нагрева, плавления и начальной стадии переноса пленки золота толщиной 40 нм при условиях облучения, типичных для процесса LIFT [2]. Результаты анализируются в сравнении с данными, полученными в рамках континуумной модели [3]. Планируется применение разработанной модели для изучения процесса LIFT пленок цинка и хрома.

1. Zhou X. W., Wadley H. N. G., et al. Atomic scale structure of sputtered metal multilayers. // *Acta mater.* 2001. Vol. 49. P. 4005–4015.

2. Klini A., Loukakos P. A., Gray D., et al. Laser Induced Forward Transfer of metals by temporally shaped femtosecond laser pulses // *Optics Express.* 2008. Vol. 16. P.11300–11309.

3. Shugaev M. V., Bulgakova N. M. Thermodynamic and stress analysis of laser-induced forward transfer of metals // *Appl. Phys. A.* 2010. Vol. 101. P. 103–109.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Н. М. Булгакова.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА

ПОРИСТАЯ КЕРАМИКА, ПОЛУЧЕННАЯ ИЗ ПОРОШКОВ БИФРАКЦИОННОГО СОСТАВА

Т. А. Асташова, Н. Е. Плешаков

Томский государственный университет

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Пористые керамики по сравнению с большинством металлов и полимеров характеризуются большей устойчивостью в химически агрессивных средах, износостойкостью, что ставит их приоритетное положение в качестве материалов для изготовления мембран, эндопротезов костной ткани и т.п. Однако низкая прочность пористых керамик существенно ограничивает их использование. Выходом из этой ситуации может быть использование в синтезе керамик полидисперсных порошковых систем. В керамиках на основе крупнокристаллических и высокодисперсных порошков ZrO_2 активное спекание высокодисперсного порошка приводит к упрочнению керамики, в то время как наличие межчастичной пористости в крупнокристаллическом порошке способствует образованию развитого порового пространства.

Цель данной работы – синтез, анализ структуры и свойств пористой керамики, получаемой из порошковых смесей бифракционного состава.

В качестве исходных порошков в данной работе использовались грубодисперсный и высокодисперсный порошки твёрдых растворов на основе ZrO_2 . Спекание образцов керамики производилось при температуре 1650 °С с изотермической выдержкой в течение часа.

Керамические материалы, полученные только из высокодисперсного и грубодисперсного порошков, практически не отличались по объёму порового пространства. Несмотря на большую активность к спеканию высокодисперсного порошка по сравнению с грубодисперсным, его агрегированность не позволила достичь высокой плотности в керамике. Введение до 5 объёмных % высокодисперсной фракции в грубодисперсный порошок сопровождалось уменьшением пористости в керамике, а при её большем количестве пористость в керамике возрастала. Наибольшую пористость имела керамика, полученная из порошков ZrO_2 с долей высокодисперсной фракции 60 – 80 объёмных %.

Увеличение содержания высокодисперсного порошка в структуре керамики привело к возрастанию доли высокотемпературной кубической модификации диоксида циркония, и сопровождалось увеличением прочностных свойств.

Научный руководитель – А. В. Козлова.

ОСОБЕННОСТИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ БИОМОЛЕКУЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ МЕТОК С ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

А. С. Бакланов
Новосибирский государственный университет
ЗАО «Вектор-Бест»

Люминофоры на основе координационных комплексов ионов лантаноидов с органическими лигандами являются перспективными метками для визуализации результатов иммунохимических анализов. Время жизни их возбуждённого состояния ($\sim 10^{-3}$ с) на несколько порядков больше, чем при обычной флуоресценции ($\sim 10^{-11} \div 10^{-6}$ с) – измерение флуоресценции с разрешением во времени (Time-Resolved Fluorescence) позволяет уменьшить сигнал неспецифической флуоресценции.

Нами были получены несколько вариантов комплексов европия с органическими лигандами со спектром возбуждения флуоресценции в области ближнего ультрафиолета (260–380 нм). Измерения флуоресценции меток проводили в водных растворах с поверхностно-активными веществами.

На данном этапе исследования основное внимание уделено изучению фотофизических характеристик выбранных меток и оценка их применимости для высокочувствительной регистрации иммунных комплексов. Для выбранных меток проведено сравнение разных источников оптического возбуждения: импульсная ксеноновая лампа (4 Вт, 1.5 мкс), азотный импульсный лазер (10 кВт, 5 нс), полупроводниковый светодиод (200 мкВт, 1.5 мс). Показана перспективность использования светодиода в рамках обозначенной цели. Для того чтобы чувствительность определения флуоресцентной метки была сравнима с современными методами ИФА, требуется формирование комплексов европия в кластеры-наночастицы не менее, чем по 100 комплексов в частице. Однако постепенная деградация синтезированных нами комплексов европия в водном растворе пока что не позволяет использовать их в качестве меток для биомолекул.

Научные руководители – А. А. Краснов, канд. хим. наук
В. Д. Порываев.

ИЗУЧЕНИЕ СТАТИСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИПЛЕТОВ

Е. Ю. Бушмелёв

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Одной из основных задач современной биологии, биоинформатики, системной и популяционной геномики является выявление и изучение структур в генетических последовательностях. Настоящая работа посвящена выявлению ещё одной структуры, обусловленной закономерностями в чередовании триплетов. Проводился поиск и описание структуры в ДНК, определяемый взаимным расположением триплетов. Рассмотрены закономерности чередования триплетов у генома некоторых прокариот. Показано, что порядок чередования триплетов весьма неслучаен, и является важным показателем, позволяющим делать содержательные выводы о соотношении между структурой и функцией генома.

В рамках настоящей работы был существенно сокращён набор рассматриваемых пар триплетов. Исследовалось поведение функции распределения для пар триплетов, составляющих комплиментарные палиндромы, т.е. такие пары триплетов, которые читаются одинаково в противоположных направлениях с учётом замены символов по правилу Чаргаффа.

Установлено, что функция распределения хорошо приближается Пуассоновским распределением нулевого порядка. Порядок показателя экспоненты в этом распределении варьирует от 0,0011 до 0,051, в зависимости от состава пары триплетов и вида организма. Для некоторых организмов обнаружено существенное нарушение Пуассоновского распределения на расстояниях порядка от 0 до 100 нуклеотидов: у функции распределения наблюдается ряд пиков, расположенных на фиксированном расстоянии один от другого, что означает наличие скрытой периодичности в соответствующих генетических последовательностях.

Общее число пар триплетов и функций для изучения составляет 4096, что остро ставит проблему визуализации. Один из возможных подходов в этом направлении — построение двумерной «карты» триплетов, показывающей рельеф изменения показателя экспоненты в распределении Пуассона для расстояний между триплетами по парам.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук М. Г. Садовский.

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТОВ СВЯЗЫВАНИЯ ЭРИТРОЗИНА С БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЛЮЦИФЕРАЗой МЕТОДАМИ АБСОРБЦИОННОЙ И ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Г. С. Гагаркина

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Способность бактериальной люциферазы связываться с лигандами различной зарядовой природы до конца не изучена, поэтому вызывает большой интерес определение характера взаимодействия и нахождение количественных параметров связывания. Методами абсорбционной и флуоресцентной спектроскопии были исследованы эффекты связывания анионного флуоресцентного зонда, эритрозина В, и бактериальной люциферазы из *Photobacterium leiognathi* в фосфатном буфере, рН 6,8.

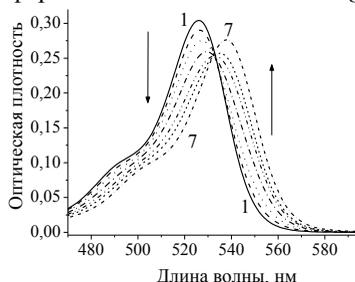


Рис. 1. Спектры поглощения эритрозина (1) с ростом концентрации люциферазы от 0,08 мкМ (2) до 2,7 мкМ (7)

С ростом концентрации люциферазы полоса поглощения эритрозина на 526 нм смещается в длинноволновую область на 11 нм (рис. 1). При этом появляется изобестическая точка на 532 нм, что указывает на образование нового состояния. В спектрах испускания красителя наблюдается небольшое падение интенсивности при соотношении концентраций люциферазы и эритрозина $C_{\text{люц}} / C_{\text{эр}} = 1/47 \div 1/6$ и дальнейший рост флуоресценции при $C_{\text{люц}} / C_{\text{эр}} = 1/4 \div 1/1$ с батохромным сдвигом до 5 нм. Для детального анализа данных была произведена процедура разделения экспериментальных спектров на контуры отдельных состояний красителя: свободного и связанного. По изменению интенсивности свободного красителя была найдена константа тушения ($4,2 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1}$), а из оптической плотности связанного состояния – константа комплексообразования ($4,8 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1}$). Межмолекулярный комплекс образуется при стехиометрии 1:1. Для понимания механизма взаимодействия дианиона эритрозина с макромолекулами люциферазы в систему вводили KCl. С ростом ионной силы эффекты связывания происходят эффективнее, что может говорить о преобладании гидрофобного взаимодействия над электростатическим. Показано, что при связывании с люциферазой квантовый выход флуоресценции эритрозина увеличивается до 2,5 раз, что означает увеличение жесткости молекулы красителя.

Научный руководитель – М. А. Герасимова.

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ КЛЕТОК E.COLI С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕЙ ПРОТОЧНОЙ ЦИТОМЕТРИИ

А. А. Гелаш

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Задача определения распределения бактерий в популяции по размерам является актуальной биофизической задачей. Её решение может найти применения в области исследований кинетики роста бактерий, а также в медицинской диагностике. Для решения этой задачи проводится характеристика отдельных бактерий, измеряя зависимость интенсивности рассеянного ими света от угла (индикатриса светорассеяния). Измерения индикатрис светорассеяния отдельных бактерий производится на сканирующем проточном цитометре (СПЦ). При этом за короткий по сравнению с характерными временами роста бактерий промежуток времени удается измерить несколько тысяч индикатрис, что позволяет получать не только индивидуальные характеристики отдельно взятой бактерии, но и распределения по размерам всей популяции.

На данный момент на СПЦ экспериментально измерены индикатрисы светорассеяния популяций клеток E.Coli штамм XL1 и TG1, находящихся в двух различных фазах роста – логарифмической и стационарной. Измерения проводились на двух длинах волн – 405 нм и 660 нм. Данные две фазы существенно отличаются по размерам, что делает их исследование полезным для проверки методов характеристики. В качестве контроля были проведены измерения на оптическом микроскопе.

Исходя из литературных данных, разработана оптическая модель E.Coli – цилиндр с полусферическими концами. Для решения обратной задачи светорассеяния применяется метод узлового пространства. Он заключается в предварительном решении прямой задачи – расчете индикатрис светорассеяния модельного объекта с последующим построением базы данных индикатрис светорассеяния, рассчитанных при различных возможных параметрах модели.

Сравнение экспериментальных и теоретических индикатрис показало, что разработанная оптическая модель описывает все особенности светорассеяния клетками E.Coli.

Измеренные индикатрисы светорассеяния популяций E.Coli в стационарной и логарифмической фазах роста обработаны с помощью рассчитанной базы данных. Полученные распределения хорошо согласуются с литературными данными, а также с данными микроскопических исследований.

Научный руководитель – В. М. Некрасов.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ ХОЛЕСТЕРИНА С ГЛИЦИРРИЗИНОВОЙ КИСЛОТОЙ

О. Ю. Глущенко

Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск

Холестерин является одним из важнейших соединений в организме человека, которое обеспечивает стабильность клеточных мембран в широком интервале температур, а также необходимо для выработки витамина D и различных стероидных гормонов. В тоже время, избыток холестерина приводит к развитию атеросклероза и к формированию атеросклеротических бляшек. Согласно современным представлениям, развитие атеросклероза происходит под влиянием воспалительных процессов вызываемых окислительным стрессом. Важная роль при этом отводится продуктам окисления холестерина, которые к тому же проявляют цитотоксические свойства.

Поэтому крайне важно установить, как можно повлиять на процессы окисления холестерина. Один из способов, описанных в литературе, связан с использованием природных комплексантов - циклодекстринов (ЦД), способных связываться с молекулами холестерина и выводить его из организма. Но использование ЦД может привести и к негативным эффектам, в частности, хорошо известно, что ЦД способны извлекать холестерин из мембран, что приводит к разрушению структуры кавеол.

Задачей настоящей работы является изучение возможностей, которыми в этом плане может обладать другой природный комплексант – глицирризиновая кислота. В ходе работы была проверена гипотеза существования комплекса холестерина с глицирризиновой кислотой, а также исследовано влияние комплексообразования на процесс окисления холестерина озоном и установлено, что образование комплекса существенно снижает уровень окисления. Образование озона в артериях человека, пораженных атеросклерозом, а также продуктов его взаимодействия с холестерином, было обнаружено в недавних исследованиях [1].

1. P. Wentworth, J. Nieva, C. Takeuchi, R. Galve, A. Wentworth, R. Dilley, G. DeLaria, A. Saven, B. Babior, K. Janda, A. Eschenmoser, R. Lerner, Evidence of ozone formation in human atherosclerotic arteries, *Science* 302 (2003) 1053.

Научный руководитель – д-р хим. наук Н. Э. Поляков.

ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ МИКРОСКОПИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ КОЛЛАГЕНА В АНИЗОТРОПНЫХ ТКАНЯХ

I. Gusachenko^{1,2}, G. Latour¹, M.-C. Schanne-Klein¹

¹Ecole Polytechnique, CNRS, г. Палезо, Франция

²Институт цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск

Коллаген является основной составляющей внеклеточного матрикса млекопитающих и играет ключевую роль в архитектуре биологических тканей. Для этого структурного белка характерны протяженные участки в форме тройной спирали и высокоструктурированная макромолекулярная организация. Коллаген фибриллярных типов спонтанно формирует фибриллы, которые затем собираются в более толстые нити, либо слои, в зависимости от ткани (сухожилие, кожа, роговица, кость и т. д.). Фибриллярный коллаген является эффективным источником генерации второй гармоники (ГВГ) в тканях благодаря плотной упорядоченной упаковке нецентросимметричных пептидных связей в иерархических фибриллярных и макрофибриллярных структурах [1]. Таким образом, ГВГ-микроскопия эффективно применима для изучения трехмерной архитектуры фибриллярного коллагена в натуральных и биомиметических тканях [2, 3] и для оценки распространения фиброзных патологий [4].

В рамках данного исследования был сконструирован поляриметрический ГВГ-микроскоп и изучены линейные эффекты распространения излучения, влияющие на поляризационно-разрешенную ГВГ-визуализацию толстой анизотропной ткани (сухожилие) [5]. Мы разработали теоретическую модель для расчета интенсивности ВГ с учетом двулучевого преломления и диаттенуации возбуждающего излучения, а также скрещивание поляризаций второй гармоники. Полученная модель хорошо воспроизводит результаты измерений интенсивности ВГ в зависимости от глубины сканирования и угла поляризации в хвостовом сухожилии крысы для двух перпендикулярных линейных поляризаций ВГ. С помощью данной модели получены численные оценки для приведенных линейных эффектов, а также измерено отношение компонент тензора нелинейной поляризуемости $\rho = \chi_{xxx} / \chi_{xyy}$.

1. J. Phys. Chem. B **113**, 13437-13445 (2009)

2. Opt. Express **18**, 1113-1121 (2010)

3. J. Biomed. Opt. **15**, 056018 (2010)

4. J. Biomed. Opt. **13**, 054041 (2008)

5. Opt. Express **18**, 19339-19352 (2010)

Научные руководители – д-р. биол. наук, проф. Н. Б. Рубцов,
Ph. D, Dr. Hab M.-C. Schanne-Klein.

СИСТЕМА ДОЛГОВРЕМЕННОГО МОНИТОРИРОВАНИЯ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ШУМОВ

П. Ю. Задорожный

Амурский государственный университет, г. Благовещенск

В современной диагностической практике, врач используя свои знания, опыт, специальное оборудование лично выставляет диагноз. Метод аускультации не стал исключением, но в этом методе врач, используя фонендоскоп, прослушивает шумы дыхания, и полагаясь только на свой слух, делает те или иные выводы. Следовательно, при таком методе обследования существует большая вероятность ошибки.

Для уменьшения вероятности ошибки была предложена идея создания компьютерного фонендоскопа, который бы одновременно с прослушиванием акустического сигнала врачом преобразовал его в электрический, оцифровывал, а затем сохранял на компьютере в виде аудиофайла с целью его дальнейшего анализа, визуализации и прослушивания.

Основной проблемой при разработке подобного устройства явились шумы возникающие во время проведения записи дыхания. Чтобы от них избавиться был использован метод фильтрации сигнала на основе задержки дыхания. Данный метод позволяет выделить спектр паразитного сигнала и уменьшить его до 100 % во всей записи не изменяя полезный сигнал.

Для удобства проведения длительного мониторинга с использованием «компьютерного фонендоскопа», была разработана модель беспроводной версии устройства. Результатом является система состоящая из двух компонент:

- датчик, представляющий собой миниатюрный блок, содержащий микрофон, схему оцифровки и передачи информации по радиоканалу;
- блок обработки, предназначенный для приема, обработки, сохранения информации и передачи её на ПК.

В качестве радиоканала была выбрана технология передачи информации Bluetooth. Таким образом при установке специального ПО на КПК, телефон или смартфон любое из этих устройств можно использовать как блок для сохранения полученных данных, а при необходимости возможно использование для обработки, анализа и передачи информации через интернет в диагностический центр.

Предлагаемое устройство позволяет с высокой точностью записывать и выводить на экран монитора картину дыхания и сердцебиения обследуемого пациента.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. Ф. Ульянычева.

СВЯЗЬ МЕЖДУ СТРУКТУРОЙ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ ГЕНОМОВ И ТАКСОНОМИЕЙ ИХ НОСИТЕЛЕЙ

Н. А. Зайцева

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Связь между структурой генома и таксономией его носителя имеет большое значение. Исследование статистических свойств нуклеотидных последовательностей позволяет изучить отношение между структурой и таксономией носителя. В данной работе исследовались митохондриальные геномы. Для них наблюдается значительное нарушение второго правила Чаргаффа. Поэтому, изучение нарушения симметрии триплетного состава является одной из задач представленной работы.

Было проведено исследование 2259 геномов, взятых из EMBL-банка (www.ebi.ac.uk/genoms/organelle.html). С помощью программы DNACalc посчитаны их реальные и ожидаемые частоты, а также информационные ценности (отношение реальной частоты триплета к ожидаемой). Таким образом, каждый геном был представлен в виде точки в 63-мерном либо в 64-мерном пространстве. Для анализа была использована программа ViDaExpert (<http://bioinfo-out.curie.fr/projects/vidaexpert/>).

Полученная картина распределения для геномов носителей различного таксономического уровня показывает наличие существенной связи между структурой генома и филогенией. Проводился анализ и сравнение составов классов, полученных с помощью различных способов классификации: методом динамических ядер и разбиением в соответствии с биологической систематикой. Для получения классификации методом динамических ядер была проведена серия независимых экспериментов с произвольной начальной выборкой. Наиболее устойчивое разделение наблюдалось при разбиении на 2 и 3 класса. Изучение состава класса является ключевым вопросом представленной работы. На первый взгляд, не существует простого порядка в распределении, который может быть интерпретирован в терминах классических систематики.

Для изучения явления нарушения симметрии была произведена классификация в 63-мерном и в симметризованном 32-мерном пространствах информационных значений триплетов. Детали формы распределения, а также разбиение на классы различаются в зависимости от размерности пространства. Это различие означает, что асимметрия играет определенную роль в статистических свойствах митохондриальных геномов, подробное изучение этого влияния является предметом будущих исследований.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук М. Г. Садовский.

КОНСТРУКЦИЯ И ИНТЕРФЕЙС НИЗКОПОЛЬНОГО МР-ТОМОГРАФА

М. А. Зубков, К. В. Тютюкин
Санкт-Петербургский государственный университет

Традиционно, к низкопольной медицинской магнитно-резонансной томографии относят эксперименты по получению МР-изображений в магнитных полях от 0.1 Тл до 0.5 Тл, что можно объяснить приемлемыми для диагностики соотношениями сигнал/шум и контраст/шум, пространственными и временными разрешениями. Однако, для экспериментальных целей возможно использование и томографов с меньшей напряженностью магнитного поля. В секции МР-томографии кафедры Квантовых Магнитных Явлений СПбГУ установлен МР-томограф с рабочим полем 7 мТл. В рамках работы была проведена модернизация системы управления томографом для чего система стандарта КАМАК была заменена на плату ввода/вывода NI PCI-6229, предоставляющую:

- 16 аналоговых входных каналов с частотой оцифровки 250 кГц
- 4 аналоговых выходных канала
- 48 цифровых каналов ввода/вывода с частотой оцифровки 1 МГц
- 2 канала-счетчика / синхронизации.

Данная конфигурация является достаточной для реализации управления томографом с рабочей частотой 300 кГц. 4 аналоговых канала были использованы в качестве управляющих каналов градиентов (три канала импульсов градиентов и канал смещения поля). Аналоговые входные каналы могут использоваться поодиночке при использовании синхронного фазового детектора или парно при квадратурном детектировании. Цифровые каналы используются в качестве каналов генерации радиочастотных импульсов и синхронизации импульсов градиентов, радиочастотных импульсов и стробов приема данных.

Модульное устройство управляющей программы, выполненной в пакете LabView, позволяет легко варьировать как параметры эксперимента (времена TE, TR, разрешение, длительности радиочастотных импульсов и импульсов градиентов и др.), так и саму структуру эксперимента. Благодаря этому томограф может использоваться не только для получения изображений, но и в качестве спектрометра или релаксометра. Это позволяет использовать его как для исследования модельных объектов, так и для разработки новых экспериментальных методик.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доцент. В. В. Фролов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЁМА ЛИМФОЦИТА КРОВИ ЧЕЛОВЕКА В ХОДЕ АПОПТОЗА НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ СТРУКТУРУ И ПОЛЯРИЗАЦИЮ РАССЕЯННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ю. А. Климова

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Апоптоз – запрограммированная клеточная гибель, которая является процессом уничтожения клеток, которые стали опасными для организма. Нарушение процесса апоптоза является причиной многих патологий. Также в нашей работе мы имеем большое поле для исследовательской работы, т. к. смерть клетки – это постоянное проявление жизнедеятельности организма. Так же апоптоз является мощным и важнейшим средством естественной профилактики раковых и других злокачественных новообразований.

Лимфоциты – главные клетки иммунной системы. Поскольку существует их упрощенная оптическая модель - двухслойная сфера, они удобны для изучения. В данной работе мы индуцируем апоптоз по рецепторному механизму. Существует две стадии апоптоза: стадия обратимых и необратимых изменений. В ходе процесса происходят морфологические изменения: уменьшение объёма апоптирующей лимфоцита, конденсация и фрагментация хроматина, уменьшение и уплотнение цитоплазмы, изменение структуры клеточной мембраны и образование в ней инвагинаций, образование апоптических телец и т.д. В данной работе мы уделяем основное внимание изменению объёма клетки в процессе апоптоза. Эксперимент мы проводим на сканирующем проточном цитометре и так же следим за морфологическими изменениями лимфоцитов с помощью светового микроскопа.

В ходе эксперимента мы наблюдали изменения картины интенсивности и поляризации лазерного излучения рассеянного клеткой в процессе апоптоза. Мы применили метод глобальной оптимизации для определения изменения характеристик лимфоцитов в процессе апоптоза.

Научный руководитель – Д. И. Строкотов.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОРАССЕИВАЮЩИХ СВОЙСТВ МИКРОЧАСТИЦ КРОВИ

А. И. Конохова

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Микрочастицы крови – фосфолипидные микровезикулы, высвобождающиеся в межклеточное пространство практически всеми типами клеток крови в результате их активации, апоптоза и других факторов нарушающих нормальное функционирование клеток крови, участвующие в процессах межклеточного взаимодействия и являющиеся маркерами различных патологий.

На данный момент в литературе существует множество данных, посвященных проблеме детекции и изучения микрочастиц. Наиболее предпочтительным и часто используемым методом исследования микрочастиц крови является проточная цитометрия. Несмотря на развитие разрешающей способности цитометрии, детекция микрочастиц до сих пор является сложной и нетривиальной технической задачей. Характерный размер микрочастиц варьируется в диапазоне 0,1–1 мкм, вследствие чего уровень сигнала светорассеяния от микрочастиц находится вблизи границы разрешающей способности прибора, что сильно осложняет получение информации обо всей популяции. Другая проблема заключается в том, продукты распада клеток имеют такой же характерный диапазон размеров, что и микрочастицы крови.

Используемая нами технология сканирующей проточной цитометрии (СПЦ) позволяет измерять непрерывную индикатрису светорассеяния в широком диапазоне углов, что принципиально важно для корректного определения размера и показателя преломления.

В нашей работе с помощью СПЦ мы измерили сигналы светорассеяния от микрочастиц, которые были обработаны с помощью алгоритма глобальной оптимизации, в результате чего было получено распределение по размерам и показателям преломления микрочастиц, что является новой информацией о популяции микрочастиц крови.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. П. Мальцев.

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА С ПОВЕРХНОСТЬЮ ЭРИТРОЦИТОВ ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Д. В. Корнеев, Е. В. Бессуднова

Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»
Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск

Метод атомно-силовой спектроскопии (АСС) позволяет измерять силы, возникающие при взаимодействии наноразмерных объектов. Идея метода состоит в фиксации одного объекта на зонде атомно-силового микроскопа с последующим приведением его во взаимодействие со вторым объектом, закрепленным на подложке. После соприкосновения объектов зонд поднимают, непрерывно измеряя деформацию кантилевера. Зная силовую постоянную кантилевера, по значению деформации в момент разединения объектов определяют силу взаимодействия [1].

Многочисленные проекты по применению искусственных наночастиц, в том числе, и различных модификаций TiO_2 , в медицинских целях порождают потребность в изучении взаимодействия наночастиц с клеточной поверхностью [2]. Эритроциты являются основным клеточным компонентом крови и первыми вступают в контакт с любым вводимым препаратом. Специфическое взаимодействие с поверхностью эритроцитов является важным фактором, определяющим пригодность наночастиц для применения в медицинских целях. Метод АСС позволяет обнаружить и количественно охарактеризовать специфическое взаимодействие наночастиц с исследуемой поверхностью.

Работа содержит результаты измерений сил связывания наночастиц двух модификаций (аморфная и анатаз) TiO_2 с поверхностью эритроцитов методом АСС, интерпретацию и обсуждение полученных результатов. Разработан метод фиксации наночастиц TiO_2 на поверхности зонда. Исходные наночастицы охарактеризованы методами атомно-силовой и электронной микроскопии. Силовые измерения проводились в жидкости на нативных эритроцитах при физиологических значениях температуры и рН раствора. Показана зависимость силовых характеристик взаимодействия от кристаллической модификации TiO_2 .

1. H. J. Butt, B. Cappella, Force measurements with the atomic force microscope: Technique, interpretation and applications. // Surface Science Reports 59 (2005) 1–152

2. P. Thevenot, J. Cho, D. Wavhal, Surface chemistry influences cancer killing effect of TiO_2 nanoparticles, Nanomedicine. 2008 Sep; 4(3):226-36.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Б. Н. Зайцев.

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГО-ПОПУЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ РОСТА КУЛЬТУРЫ АСЦИТНОЙ КАРЦИНОМЫ ЭРЛИХА IN VITRO

В. А. Неговорова

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Злокачественные новообразования остаются одной из сложнейших социальных и медицинских проблем. Исследование изолированной популяции опухолевых клеток позволяет более детально изучить процесс роста опухоли и воздействие различных регулирующих факторов. В работе была предложена оптимизационная модель энергетического баланса раковой опухоли, учитывающая рост клеточной культуры in vitro в условиях ограниченного питательного ресурса [1]. Согласно модели, существуют оптимальные параметры доступности пищевых ресурсов, при которых возможен рост опухолевых клеток.

Объектом работы являются клетки асцитной карциномы Эрлиха. В ходе работы клетки опухоли инкубировали в питательных средах, отличающихся исходной концентрацией культивируемых клеток и содержанием глутамина в питательной среде. В качестве исследуемых параметров выступали доля живых клеток в культуре и диэлектрические характеристики клеточных мембран [2].

Экспериментально было подтверждено различие в процессах роста клеточных культур с разными начальными состояниями клеток и питательной среды, которые согласуются с различиями в диэлектрических свойствах суспензий, отражающих состояние мембран клеток. Так при культивировании клеток асцитной карциномы Эрлиха в безглутаминовой среде наблюдается большая выживаемость в сочетании с большей мощностью диэлектрического спектра.

Таким образом, сопряженные измерения плотности культуры асцитной карциномы Эрлиха, доли живых клеток в культуре и диэлектрических характеристик суспензии позволяют подойти к количественным расчетам параметров доступности энергетических ресурсов в зависимости от начальных условий культивирования.

1. Суховольский В. Г., Исхаков Т. Р., Тарасова О. В. Оптимизационные модели межпопуляционных взаимодействий. – Новосибирск: Наука, 2008. – 162с.

2. Шван Г. Спектроскопия биологических веществ в поле переменного тока//Электроника и кибернетика в биологии и медицине, пер. с англ., М., 1963.

Научный руководитель – канд. биол. наук, проф. В. Г. Суховольский.

МЕТОД «РЕТРОСПЕКТИВНОГО ШИММИРОВАНИЯ» В МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Е. Д. Петровский

Международный томографический центр СО РАН
Новосибирский государственный университет

В практике современных биологических исследований своё использование нашёл метод ядерной магнитно-резонансной спектроскопии. В настоящее время, в сопряжении с методом магнитно-резонансной томографии (МРТ), он позволяет получить локализованные спектры определённых областей объекта. Однако методы, используемые для такого рода исследований, не рассчитаны на преодоление технических трудностей, возникающих на новейших приборах.

Основной трудностью описанного характера является недостаточная однородность магнитного поля в объёме исследуемой зоны объекта. Это приводит к уширению спектральных линий, или, другими словами, падению разрешения получаемых спектров. Для борьбы с этой трудностью на любом современном магнитно-резонансном томографе установлена система так называемых шиммирующих катушек, компенсирующих неоднородности магнитного поля. Однако технические возможности таких приспособлений ограничены.

В практике исследования мозга мыши на томографе Bruker BioSpec 17 / 16 было замечено, что возможностей шиммирующих катушек недостаточно для компенсации возникающих неоднородностей магнитного поля. В связи с этим был разработан метод «ретроспективного шиммирования», призванный повысить разрешение получаемых спектров.

Метод основан на обработке серии пространственно-разрешённых спектров, каждый из которых соответствует определённой (малой) части объекта. Идея метода состоит в том, что ширина спектральной линии тем меньше, чем меньше объём области наблюдения. Таким образом, в сравнении со спектром всего объекта, индивидуальные спектры имеют лучшее разрешение, но значительно меньшее отношение сигнал/шум и независимый сдвиг по шкале частот. Обе указанные проблемы решаются специальной математической обработкой всего массива данных и синтезом единого спектра исследуемого объекта. Тот факт, что сдвиг по шкале частот проводится после эксперимента, дал название методу.

В настоящее время эффективность метода подтверждена компьютерным моделированием и экспериментами на модельных объектах. Вопрос о применимости для экспериментов *in vivo* остаётся открытым.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, А. А. Савелов.

ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДОВ

Н. М. Плотникова

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

В последнее время большой интерес представляют собой исследования процессов образования и аттестация свойств полиэлектrolитных комплексов (ПЭК) на основе полисахаридов, которые способны формировать в растворах нано- и микроструктуры, обеспечивающие высокую проницаемость через клеточные мембраны. Такие вещества потенциально применимы в фармацевтической области, а именно, в системах доставки лекарств, ввиду своей биосовместимости, биodeградируемости и широкой распространенности. В работе изучены три раствора ПЭК на основе поликатиона хитозана и полианиона хондроитин сульфата, которые отличались соотношением концентраций анионной добавки к хитозану: 0,008, 0,05, 0,3. Значение рН, измеренное потенциометрическим методом, составляло $4,59 \pm 0,01$.

Зарядовое состояние ПЭК было оценено спектрофотометрическим методом с помощью анионных и катионных флуоресцентных зондов (флуоресцеина, эритрозина, родамина 6G), спектральные свойства которых меняются в зависимости от протолитического состояния среды. В случае флуоресцеина при добавлении ПЭК наблюдалось изменение формы контура красителя, при этом для родамина 6G спектр поглощения оставался постоянным. Для определения рН растворов, содержащих ПЭК, спектры поглощения флуоресцеина были разложены на отдельные протолитические формы. С помощью градуировочной кривой дианионов был определен уровень кислотности каждого раствора ПЭК (5,21, 5,22, 5,14). Найденные данным методом, позволяющим оценить локальное распределение зарядов вблизи флуоресцеина, значения рН оказались выше величин, полученных потенциометрическим методом (4,59), который определяет макроскопическую характеристику среды. Такое несоответствие говорит о наличии связывания анионного зонда с растворами ПЭК, а значит о положительном заряде последних. Аналогичные результаты были получены и в случае эритрозина. При титровании красителя раствором с ПЭК наблюдалось уменьшение оптической плотности и красный сдвиг до 12 нм. Причем эффективность связывания эритрозина с ПЭК коррелирует с величиной соотношения концентраций хондроитин сульфата и хитозана, которая определяет количество свободных положительных зарядов на поверхности ПЭК.

Научный руководитель – М. А. Герасимова.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АГРЕГАТОВ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОЧАСТИЦ И КИНЕТИКИ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ В РЕАКЦИЯХ АГГЛЮТИНАЦИИ

А. А. Польщизин, А. Е. Москаленский, В. М. Некрасов
ЗАО «Вектор-Бест»

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Диагностика многих заболеваний человека требует измерения концентрации определенных белков. Для этих целей в клинических лабораториях используется турбидиметрический метод, который основан на измерении кинетики оптической плотности смеси целевого белка (антигена) со специфичными антителами. Для усиления сигнала антитела адсорбируют на поверхности полимерных микросфер. Однако десорбция и снижение аффинности антител в течение срока эксплуатации приводят к существенному уменьшению точности получаемых результатов.

Данная работа посвящена уточнению физической модели процесса агглютинации полимерных микросфер, а также характеристике формирующихся агрегатов.

На сканирующем проточном цитометре проведена серия кинетических экспериментов по определению количества олигомеров при агглютинации биотинилированных флуоресцентных микросфер, вызванной добавлением стрептавидина. На основании уравнения Смолуховского теоретически предсказан линейный рост отношения суммарного количества всех агрегатов к количеству мономеров со временем в широком диапазоне степени конверсии мономеров и фрактальной размерности агрегатов, что согласуется с наблюдаемыми экспериментальными данными.

Сечения экстинкции агрегатов, состоящих из различного количества мономеров, рассчитывали методом T-матриц. На основании полученных данных с использованием построенной кинетической модели вычисляли суммарную оптическую плотность системы. Сопоставлением теоретических и экспериментальных данных удалось определить физические параметры реагирующих агентов. Полученные величины хорошо согласуются с литературными данными.

Таким образом, с помощью предложенной методики возможно определение не только концентрации целевого белка в образце, но и таких важных параметров, как, например, константы аффинности антиген-антитело и количества антител на поверхности одной микросферы. Это позволяет контролировать качество используемых реагентов в клинической диагностике и существенно увеличивает точность результатов анализа.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. П. Мальцев.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОМПАКТНОЙ КОСТНОЙ ТКАНИ

С. С. Посысаев

Томский государственный университет

Человечество всегда волновало качество и продолжительность его жизни. Достижение этой цели, в частности, предполагает создание материалов для искусственных органов и тканей, в том числе материалов для замены костной ткани. Материалы, претендующие на роль костных имплантатов должны обладать биологической совместимостью, не отторгаться организмом как инородное тело, иметь достаточную пористость для прорастания костной ткани сквозь имплантат. Кроме вышеперечисленных свойств, для разработки имплантатов актуальным является исследование механического поведения костной ткани с учетом индивидуальных особенностей ее строения, так как костная структура изменяется с возрастом, адаптируется и модифицируется в зависимости от окружающей механической обстановки [1].

Костная ткань является биологическим композитом, основу которого составляет органический и минеральный матрикс. Основным элементом конструкции компактной костной ткани являются остеоны, которые представляют собой конструкцию из 4–20 концентрически расположенных ламелл (цилиндрических оболочек) толщиной 3–7 мкм с разными направлениями и углами навивки волокон коллагена. Остеон образуется вокруг центрального гаверсова канала, приблизительно кругового сечения, внутри которого проходят кровеносные сосуды, нервы.

В ходе выполнения работы была построена конечно-элементная модель компактной костной ткани. В качестве армирующих элементов конструкции рассматривались остеоны. А в качестве матрицы – прочно склеенные между собой кусочки цилиндрических ламелл. Модельный образец компактной костной ткани представляется совокупностью структурных элементов с размерами $a \times b \times c$, внутри каждого структурного элемента расположен остеон диаметром d_1 и диаметром гаверсова канала d . Механические свойства матрицы и армирующих элементов определяются свойствами и ориентацией коллагеново-минеральных волокон. Материал матрицы считается макроскопически изотропным, материал остеона – ортотропным.

1. Фигурска М. Структура компактной костной ткани // Российский журнал биомеханики. – 2007. – том.11. – №3. – С.28-38.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук. Т. В. Колмакова.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВОЗДУХА В ВЕРХНИХ ОТДЕЛАХ ДЫХАТЕЛЬНОГО ТРАКТА ЧЕЛОВЕКА

А. С. Садовский

Институт теоретической и прикладной механики

им. С. А. Христиановича СО РАН

Новосибирский государственный технический университет

Работа посвящена изучению течения воздуха в дыхательном тракте человека. Он имеет сложное анатомическое строение и труднодоступен для традиционных методов визуализации потоков, поэтому для полного и всестороннего изучения процесса дыхания и структуры течения в нём эффективно применение математического моделирования, которое позволяет рассчитать все параметры течения воздуха в дыхательном тракте человека. Исследование проводится для геометрической модели дыхательных путей, включающей объединенную носовую полость с переходом в носоглотку, трахею и три первые генерации бронхов. Геометрия носовой полости строится на основе серии томографических снимков в коронарных сечениях конкретного человека с использованием препроцессора GAMBIT коммерческого пакета FLUENT. Ввиду отсутствия данных томографии, остальная часть дыхательного тракта моделируется поверхностями стандартных фигур с использованием известных анатомических параметров. С помощью пакета FLUENT численно решается задача о течении воздуха на основе уравнений Навье – Стокса [1]. Течение предполагается турбулентным, для описания турбулентности используется $(k - \omega)$ -модель.

По результатам расчетов проведена визуализация течения воздуха, рассмотрено развитие течения вдоль дыхательного тракта человека и представлены основные параметры, от которых зависит вид полученного течения. В частности, установлено, что течение в трахее представляет собой закрученный поток и зависит от профилей скорости на выходе из носовых полостей при объединении их в одну, которые сами в свою очередь зависят от особенностей анатомического строения носовых полостей.

1. В. М. Фомин, В. Н. Ветлущий, В. Л. Ганимедов, М. И. Мучная, В. И. Шепеленко, М. Н. Мельников, А. А. Савина. Исследование течения воздуха в носовой полости человека // Журнал прикладной механики и технической физики. 2010. Т. 51, №2

Научные руководители – акад. РАН. В. М. Фомин, канд. физ.-мат. наук В. Л. Ганимедов.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЯХ ЧЕЛОВЕКА

С. В. Стертюков

Амурский государственный университет, г. Благовещенск

В данной работе особое внимание уделяется влиянию геометрии поверхности дыхательных путей на эффективность теплообмена.

Для разработки новой модели изучена задача теплообмена для различных случаев и проанализировано влияние на решение геометрии потока и поверхности. Основным методом расчета конвективного теплообмена является теория пограничного слоя.

Исследуются следующие случаи теплообмена:

- ламинарное течение сплошной среды вдоль пластины бесконечной ширины и конечной длины [1];
- стационарное течение газа в трубке без массообмена [2];
- движение газа в трубке с влагообменом [3].

В случае учета массопереноса с поверхности трубки, уравнения теплообмена дополняются уравнением:

$$q_L = h_{fg} k_c (C_M(x) - C_A(x)),$$

где h_{fg} – теплота парообразования; k_c – коэффициент массопереноса вычисляется через число Шервуда); $C_M(x)$ – концентрация воды на стенке слизистой; $C_A(x)$ – концентрация воды в воздухе.

Для того чтобы обеспечить кондиционирование вдыхаемого воздуха в соответствии с реальной ситуацией в учет должна быть принята шероховатость дыхательных путей. Эта особенность учтена в модели добавлением на поверхность теплообмена цилиндров, имеющих линейные размеры реснитчатого эпителия. Тем самым площадь поверхности взаимодействия увеличивается и существенно возрастают силы трения.

1. Э. Р. Эккерт, Р. М. Дрейк, Теория тепло- и массообмена. М.: Государственное энергетическое издательство, 1981.

2. Л. Г. Лойцянский, Ламинарный пограничный слой. М.: Гос. изд. физ.-мат. литературы, 1983.

3. Б. Гебхарт, Й. Джалурия, Р. Махаджан, Свободноконвективные течения, тепло- и массообмен. Мир. 1991.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. Ф. Ульянычева.

ВЛИЯНИЕ ГЛИЦЕРИНА И САХАРОЗЫ НА ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬ БИФЕРМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ NAD(P)H:FMN-ОКСИДОРЕДУКТАЗА-ЛЮЦИФЕРАЗА

О. С. Сутормин

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Структурно-динамическая организация белковых макромолекул является донной из фундаментальных проблем современной биофизики и биохимии. Ферментативные процессы, изучаемые *in vitro*, не дают нам полного представления о функционировании этих биологических систем *in vivo*, из-за различий в физико-химических параметрах окружающей среды. Одним из подходов для решения этой проблемы наряду с белковой инженерией является «дизайн» среды, который позволяет моделировать физико-химические характеристики микроокружения фермента. Кроме того, известно, что многие ферменты в клетках работают в виде структурно и кинетически единых комплексов, в которых происходит цепь последовательных процессов, когда продукт первого фермента является субстратом для второго фермента и т.д. С этой точки зрения сопряженная ферментативная система NAD(P)H:FMN-оксидоредуктаза-люцифераза относится к уникальному объекту биофизических и биохимических исследований. В результате первой реакции, катализируемой *NADH:FMN*-оксидоредуктазой, происходит восстановление *FMN* с помощью *NADH*. Вторая реакция, катализируемая люциферазой, является биоломинесцентной и сопровождается испусканием кванта света, что дает возможность использовать биферментную биоломинесцентную систему в различных аналитических методах для мониторинга окружающей среды, в медицине и других областях.

Исследование влияния глицерина и сахарозы на термостабильность сопряженной ферментативной системы показало, что энергия активации биферментной системы НАДН:ФМН-оксидоредуктаза-люцифераза зависит от микроокружения ферментов. Увеличение вязкости реакционной среды приводит не только к сдвигу температурного оптимума в сторону более высоких температур, но и к увеличению значения максимальной интенсивности свечения по отношению к контролю. В данном случае изученные вязкие органические растворители выступают как активаторы биферментной системы.

Научный руководитель канд. биол. наук, доцент И. Е. Суковатая.

НА ПУТИ К ПЕРВОМУ ВИРТУАЛЬНОМУ ОРГАНИЗМУ: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

С. С. Хайрулин

Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН, г. Новосибирск

В работе описаны текущие результаты, полученные в рамках проекта по созданию первого в мире виртуального организма, управляемого электронной копией его биологической нейронной сети, начатого в 2007 г. На примере простого организма – нематоды *C. Elegans*, нервная система которой состоит из 302 нейронов, мы хотим выяснить, даёт ли копия нервной системы, построенная на основе *коннектома* организма (совокупности данных, описывающих все его нейроны и межнейронные связи), такое же поведение в ряде тестовых ситуаций, как и оригинал; насколько близко к реальности наше понимание принципов работы нервной системы и отдельных нейронов.

В течение последних лет интерес к созданию виртуального *C. elegans* существенно возрос в ответ на первые работы в этой области. В частности, была предложена биологически обоснованная 3D-модель мышечной системы (Mailler *et. al.*, 2010), имеющая, однако, довольно простое, квадратное сечение в направлении, перпендикулярном оси тела. Используя разработанную нами ранее трехмерную интерактивную среду моделирования (Пальянов и др., 2009), нам удалось создать более реалистичный гибкий веретенообразный каркас тела, имеющий в сечении восьмиугольник, что наконец позволило разместить все 95 мышц тела в соответствии с их позициями в реальном организме (4 продольных тяжа со спаренными рядами клеток). Механизм ползания удалось успешно воспроизвести, а затем мы приступили к моделированию нервной системы. В соответствии с последними данными, нейроны *C. elegans* используют для передачи данных градуальный потенциал (Lockery *et. al.*, 2009), особенностью которого является относительно долгое время распространения сигнала и его затухание. Чтобы воспроизвести эту и ряд других особенностей, мы предложили новый подход к представлению и моделированию нейронной сети, в соответствии с которым в модель были добавлены основные нейронные контуры вентрального нервного корда, управляющего мышцами тела. Этого оказалось достаточно, чтобы обеспечить поступательное синусоидальное движение модели.

Поскольку относительно недавно выяснилось, что нематода способна к ассоциативным формам обучения и обладает способностями к краткосрочной и долгосрочной памяти (Rankin, 2004), дальнейшие перспективы данного направления связаны с моделированием нейронной сети головного нервного ганглия *C. elegans* в рамках концепции, позволяющей воспроизвести описанные свойства.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. Ю. Пальянов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИЗИСА ЭРИТРОЦИТОВ В ИЗОТОНИЧЕСКОМ ВОДНО-СОЛЕВОМ РАСТВОРЕ В ПРИСУТСТВИИ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ

И. В. Хало

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Эритроциты – это основные клетки крови, обеспечивающие доставку кислорода в организме; в норме эти клетки имеют осесимметричную дисковидную двояковогнутую форму. Существуют различные методы многопараметрического анализа эритроцитов. Определять параметры эритроцитов можно в процессе их лизиса (гемолиза) в подходящей среде. При нормальных условиях эритроцит поддерживает свою форму, объем, концентрации внутриклеточных компонентов, кислотность, структуру мембраны. При помещении в гемолитическую среду он становится нестабильным, меняя свой объем, форму и другие параметры, и разрушается (лизирует). Способность эритроцитов сопротивляться гемолизу может меняться в зависимости от различных заболеваний, а также от физических, химических или фармакологических воздействий, что имеет большое диагностическое значение в медицине. Однако, до настоящего времени механизм кислотного гемолиза недостаточно изучен.

В данной работе эритроциты измерялись методом светорассеяния на одиночных частицах с использованием техники проточной цитометрии. На сканирующем проточном цитометре (СПЦ) в режиме реального времени была проведена серия экспериментов по кислотному лизису эритроцитов. Одиночные клетки распознавали и характеризовали на СПЦ по сигналу индикатрисы (угловой зависимости) светорассеяния. В экспериментах использовали венозную кровь нескольких доноров. Для каждого образца крови измерялась динамика изменения параметрических функций распределения популяции клеток и полной концентрации эритроцитов в процессе гемолиза в диапазоне рН от 2 до 5. На основании полученных результатов был установлен коллоидно-осмотический тип кислотного лизиса (аналогично гемолизу в изотоническом водном растворе хлорида аммония), который идет в два этапа: 1) сферизация клетки; 2) разрыв мембраны нарастающим внутриклеточным осмотическим давлением. Измерены динамические параметры гемолиза: характерные времена сферизации и разрушения мембраны. Показано, что зависимость этих времен от рН в исследованном диапазоне хорошо описывается линейной функцией. Полученные результаты позволяют построить более детальную математическую модель кислотного гемолиза.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. В. Чернышев.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ГРАДИЕНТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЯДЕРНЫХ МАГНИТНОРЕЗОНАНСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СЛАБОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

С. А. Шубин, В. В. Фролов

Санкт-Петербургский государственный университет

Качество изображения в магнитнорезонансной томографии в сильной степени зависит от качества работы градиентной системы. В частности, градиентная система должна обеспечить максимально линейную зависимость поля от координат. Существующая система томографа сектора медицинской томографии кафедры квантовых магнитных явлений физического факультета СПбГУ обеспечивает создание градиента только в очень узкой рабочей области, в ней используется цилиндрическая радиочастотная катушка и градиентные катушки с небольшой рабочей областью. Это приводит к ряду трудностей: нет возможности работать с большими объектами; при работе с движущимся образцом невозможно исследовать пространственное распределение скоростей в канале при больших скоростях течения из-за выноса поляризованной жидкости.

В связи с этим возникла задача рассчитать конфигурацию новых градиентных катушек, создающих градиент продольной компоненты магнитного поля в X-, Y- и Z- направлениях в рабочей области увеличенного размера. Для этого в представляемой работе была предложена методика расчета конфигурации градиентной системы, которая была реализована программами, написанными в математическом пакете Maple.

В ходе работы:

1. Разработана методика расчета оптимизированных параметров градиентных систем магнитнорезонансных томографов для случая, когда размеры рабочей области сравнимы с размерами градиентной системы.
2. Составлены программы для расчета положений кольцеобразных и седлообразных катушек и токов в них для создания продольного и поперечного градиента.
3. На основании расчетов сконструирована осесимметричная градиентная катушка.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. В. Фролов.

ДЕТЕКЦИЯ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ В ОРГАНИЗМЕ ПО ИХ НЕЛИНЕЙНОМУ НАМАГНИЧИВАНИЮ

М. В. Юрьев, М. П. Никитин, Н. А. Брусенцов,
П. М. Ветошко, П. И. Никитин

Московский физико-технический институт
Российский онкологический научный центр им. Н. Н. Блохина РАМН
Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН
Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН

В последнее время магнитные наночастицы (МЧ) активно исследуются для различных биомедицинских применений, таких как гипертермия опухолей, магнитная доставка лекарств и т.д. В связи с этим требуются удобные методы регистрации МЧ в живом организме. Распространённые методы детекции МЧ *in vivo* с помощью магнитно-резонансной томографии, сверхпроводящих магнетометров (СКВИДов) или по гамма-излучению при использовании МЧ с радиоактивными изотопами обладают рядом недостатков: высокой стоимостью, затрудненными измерениями в режиме реального времени, сложностью калибровки. Этим недостатком лишен разработанный нами метод детекции МЧ по нелинейному намагничиванию [1]. Для его реализации на МЧ воздействуют переменным полем с двумя гармониками, одна из которых периодически приводит МЧ в состояние насыщения, а вторая вносит вклад лишь при отсутствии насыщения. Детекция нелинейного отклика МЧ осуществляется на комбинационных частотах. При этом окружающие диа- и парамагнитные материалы не влияют на измерения и достигается высокое отношение сигнал-шум. На основе этого метода создано семейство регистраторов МЧ для различных применений. Продемонстрировано использование приборов для измерений концентрации МЧ в кровотоке крыс и мышей *in vivo* и *ex vivo* в режиме реального времени. Разработаны методики измерения содержания МЧ в органах животных как *ex vivo*, так и *in vivo* [2]. С помощью разработанных приборов можно проводить исследования различных фармакокинетических параметров МЧ, таких как время циркуляции в кровотоке, изучать распределение МЧ по различным органам, сравнивать скорости выведения МЧ из конкретных органов, исследовать биodeградацию МЧ, в частности в сочетании с мессбауэровской спектроскопией. Кроме того, открывается перспективная возможность проводить магнитный иммуноанализ *in vivo*.

I. P. I. Nikitin, P. M. Vetoshko, T. I. Ksenevich. Magnetic Immunoassays, Sensor Letters, 2007, Vol. 5, pp. 296–299

2. M. P. Nikitin, M. V. Yuriev, N. A. Brusentsov, P. M. Vetoshko, P. I. Nikitin Non-Invasive *in vivo* Mapping and Long-Term Monitoring of Magnetic Nanoparticles in Different Organs of Animals, AIP Conf. Proc., 2010, Vol. 1311, pp. 452-457

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук П. И. Никитин.

КВАНТОВАЯ ОПТИКА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ И СТЕПЕНИ КРИСТАЛЛИЧНОСТИ ПЛЕНОК ПОЛИЭТИЛЕНА И ПОЛИПРОПИЛЕНА РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Л. Б. Анискина, А. Т. Батаргалиева
Российский государственный педагогический университет
им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург

В работе плотность ρ (г/см³) и степень кристалличности $\eta_{кр}$ (% масс) пленок полиэтилена (ПЭ) и полипропилена (ПП) определялась по показателю преломления, измеренному на рефрактометр Аббе:

$$\rho = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{M}{R} \quad \text{и} \quad \eta_{кр} = \frac{\rho_{кр}}{\rho} \cdot \frac{(\rho - \rho_a)}{(\rho_{кр} - \rho_a)},$$

где M – молярная масса полимера в г/моль, R – молярная рефракция в см³/моль; молярная масса является табличной величиной. Для ПЭ (СН₂) $M = 14,03$ г/моль и $R = 4,647$, для ПП (СН₂СНСН₃) $M = 42,09$ г/моль и $R = 13,941$.

При вычислении степени кристалличности были использованы следующие значения плотностей кристаллической и аморфной фаз ПЭ и ПП: Плотность аморфной фазы ПЭ и ПП одинакова.

$$\begin{aligned} \rho_{кр}(\text{ПЭ}) &= 1,00 \text{ г/см}^3 \text{ – орторомбическая ячейка,} \\ \rho_a(\text{ПЭ, ПП}) &= 0,8525 \text{ г/см}^3, \\ \rho_{кр}(\text{ПП}) &= 0,947 \text{ г/см}^3 \text{ – моноклинная ячейка (Вундерлих).} \end{aligned}$$

Плотность, вычисленная по показателю преломления, сравнивалась с плотностью пленки, измеренной классическим методом (изготавливались растворы спирта в воде с плотностью, равной плотности пленки):

Исследуемый материал	Показатель преломления n	Плотность, классический метод	Плотность, вычисленная	Степень кристалличности
ПЭ	1,520	0,917	0,917	0,514
ПП	1,510	0,903	0,903	0,743

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность точного (три значащих цифры) определения плотности и степени кристалличности полимерных пленок методом рефрактометрии с использованием формулы Лоренц – Лорентца и известных табличных значений рефракций водорода (1,028) и углерода (2,591) или рефракций связи С – С (1,296) и С – Н (1,676) (таблицы Фогеля).

Научный руководитель – канд. пед. наук, доцент. Л. Б. Анискина.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ МОДИФИКАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ПЛАВЛЕННОГО КВАРЦА С ПОМОЩЬЮ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ $\lambda = 1030$ НМ И $\lambda = 515$ НМ

С. А. Бабин¹, А. В. Достовалов¹, В. К. Мезенцев²

¹ Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск

² Исследовательская группа оптики, Университет Астон, Великобритания

Модификация показателя преломления материалов сфокусированным фемтосекундным излучением является на сегодняшний день одной из передовых технологий в фотонике [1–2].

Режим и свойства модификации определяются как свойствами излучения, так и свойствами материала. Длина волны излучения является немаловажным фактором, определяющим режим и свойства модификации, поскольку от длины волны зависит порядок процесса многофотонного поглощения и, соответственно, поглощение энергии в области модификации.

В работе представлены результаты численного моделирования поглощения энергии в процессе фемтосекундной модификации показателя преломления плавленого кварца с помощью основной ($\lambda = 1030$ нм) и второй гармоник ($\lambda = 515$ нм) фемтосекундного лазера (активная среда - Yb:KGW). Показано, что поглощенная энергия для второй гармоники больше чем для основной при фиксированной энергии падающего излучения. По этой причине использование второй гармоники в фемтосекундной записи является более предпочтительным, поскольку в данном случае порог модификации ниже.

Также в работе проведено сравнение распределений плотности плазмы для основной и второй гармоник. Показано, что в распределении плотности плазмы при $\lambda = 515$ нм присутствует область высокой концентрации электронов стреловидной формы, поэтому для создания мелкомасштабных структур (например, брегговские решетки) необходимо использовать вторую гармонику. Тогда как при $\lambda = 1030$ нм наблюдается более равномерное распределение, что более предпочтительно для создания волноводов.

1. R. R. Gattass, E. Mazur, «Femtosecond laser micromachining in transparent materials» Nature, 2, 219–225, 2008.

2. G. N. Smith, K. Kalli, K. Sugden, Advances in femtosecond micromachining and inscription of micro and nano photonic devices. Frontiers Guided Wave Optics and Optoelectronics 15, 295–320, 2010

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук С. А. Бабин.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АСТИГМАТИЗМА ВОГНУТЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК

Д. Н. Бокк

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный технический университет

В многоканальных спектрометрах широкое распространение получила схема Пашена-Рунге с вогнутой дифракционной решеткой (ВДР). Спектральное разрешение и светосила спектрометров во многом определяются характеристиками используемой дифракционной решетки, такими как разрешающая способность и астигматизм. Для измерения этих характеристик используются различные экспериментальные установки. В лаборатории Оптических информационных систем ИАиЭ СО РАН имеется такая установка, однако она позволяет определять лишь разрешающую способность ВДР, измерение астигматизма не предусмотрено.

Таким образом, целью работы явилось расширение возможностей указанной экспериментальной установки по измерению астигматизма вогнутых дифракционных решёток.

Установка является моделью спектрометра по схеме Пашена-Рунге на основе ВДР и сборки линеек фотодиодов. Состав установки: стабильный источник линейчатого спектра (лампа с полым катодом) со щелью на выходе, юстировочный узел с ВДР и сборка, содержащая 12 фотодиодных линеек, расположенных по окружности с радиусом 0,5 м. Катод лампы ЛСП-6Э представлял собой медно-цинковый сплав, газом наполнения была смесь аргона и неона. Щель источника излучения имела ширину 15 мкм и высоту 1 мм. Она одновременно являлась входной щелью спектрометра. Для обеспечения измерения астигматизма сборка была установлена на платформе, позволяющей перемещать ее по вертикали с помощью микровинта с ценой деления 10 мкм.

Для определения астигматизма измерялась высота изображения входной щели. Юстировка установки производилась так, чтобы спектр был совмещен с многокристальной сборкой по вертикали и горизонтали, и располагался параллельно ей. Спектры снимались с шагом смещения столика по вертикальной оси в 50 мкм. Высота изображения входной щели определялась расстоянием между положениями сборки, при которых интенсивность спектральных линий уменьшается в два раза по сравнению с максимумом.

С помощью данной установки был определен астигматизм для решетки спектрометра «Гранд». Получено, что при высоте входной щели 1 мм, в коротковолновой области спектра (190–350 нм) высота изображения входной щели за счет астигматизма практически не увеличивается и равна 1–1,25 мм, в длинноволновой области (390–550 нм) она возрастает до 11,5 мм.

Научный руководитель – д-р техн. наук В. А. Лабусов.

СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ КРЕМНЕЗЕМА

И. А. Болдов

Институт автоматики и электротметрии СО РАН, г. Новосибирск

В настоящее время задача реализации оптоволоконных сверхчувствительных и селективных сенсоров на различные типы химических веществ является актуальной. Для обеспечения селективности в таких оптических сенсорах зачастую применяют мембраны, структура которых определяется тем химическим соединением, которое необходимо детектировать. Такая реализация сложна и не всегда применима.

В настоящей работе описываются результаты исследований нанокomпозитных пленок на основе кремнеземных наночастиц модифицированных красителями полиметинового типа нанесенных на торцевую поверхность оптических волокон. Известно, что пирилоцианиновые красители взаимодействуют с первичными аминами с образованием пиридоцианинов, обладающих люминесценцией, отличной от люминесценции исходных пирилоцианинов. Этот эффект стал основой для синтеза красителей пирилоцианин 2 и пирилоцианин 3 [1], селективно реагирующих с бутиламином. Связывание с наночастицами кремнезема функциональных красителей позволяет увеличить их фотоустойчивость [2], что перспективно для использования их в оптических химических сенсорах. Увеличение детектируемого сигнала люминесценции от пленочной наноструктуры достигалось за счет формирования поверх неё фотонно-кристаллического (ФК) «зеркала». ФК пленки опала наносились из лиофобных суспензий частиц кремнезема с диаметром, который обеспечивал перекрытие стоп-зоны ФК с пиком люминесценции функционального красителя. Применение ФК позволило увеличить регистрируемый сигнал люминесценции в 3–4 раза. Кроме того, инфильтрация наночастиц металлов в сенсорную пленку позволило увеличить люминесценцию красителей в 2–3 раза.

Таким образом, применение таких нанокomпозитных покрытий с модифицированными наночастицами кремнезема рецепторными молекулами позволит создать на их основе новые классы высокочувствительных оптических сенсоров.

1. N. A. Orlova, I. Yu. Kargapolova, V. V. Shelkovnikov, A. I. Plekhanov. *High Energy Chemistry* **43**, 602 (2009).

2. M. M. Collinson. *Trends in analytical chemistry* **21**, 30 (2002).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. С. Кучьянов.

ВОЛОКОННЫЙ ВКР-ЛАЗЕР СО СЛУЧАЙНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ В ДИАПАЗОНЕ 1.2 МКМ

И. Д. Ватник

Институт автоматизации и электротехники СО РАН
Новосибирский государственный университет

В последние годы большой интерес вызывают лазеры со случайной распределенной обратной связью, или “случайные” лазеры. В них обратная связь реализуется за счет большого количества случайно распределенных в активной среде отражателей [1]. Наиболее изучены двумерные и объемные системы, например, взвесь наночастиц в красителе. В таких лазерах наблюдается импульсная генерация узких неколокализованных по спектру пиков во всех направлениях.

Недавно впервые был продемонстрирован одномерный лазер, реализованный в длинном отрезке телекоммуникационного волокна, с усилением за счет ВКР и случайной обратной связью за счет релеевского рассеяния на флуктуациях коэффициента преломления [2]. На длине волны 1.5 мкм наблюдалась непрерывная генерация первой стоксовой компоненты, с хорошо локализованным спектром и направленным излучением.

В данной работе изучается волоконный случайный лазер, работающий в коротковолновой области окна прозрачности оптических волокон. В отрезке волокна TrueWave длиной 10.7 км на длине волны 1175 нм получено до 3.8 Вт непрерывного одномодового излучения с шириной спектра порядка 1.5 нм. Эффективность генерации достигает 50%. Исследуются мощностные и спектральные характеристики, а также временная динамика полученного излучения. Впервые в стандартном телекоммуникационном волокне наблюдается каскадная генерация второй стоксовой компоненты ВКР за счет случайной распределенной обратной связи. Проводится сравнение параметров генерации в волокнах разной длины.

1. D. S. Wiersma, The Physics and Applications of Random Lasers. *Nature Physics* **4** 359-367 (2008).

2. S. K. Turitsyn, S. A. Babin, A. E. El-Taher, P. Harper, D. V. Churkin, S. I. Kablukov, J. D. Ania-Castañón, V. Karalekas, and E. V. Podivilov, Random Distributed Feedback Fibre Laser. *Nature Photonics* **4**, 231-235 (2010).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Д. В. Чуркин.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ДЕТЕКТОРА

П. В. Ващенко

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в области оптического спектрального анализа в качестве многоэлементных твердотельных детекторов излучения широкое распространение получили линейки фотодиодов. Такие детекторы позволяют регистрировать атомно-эмиссионные спектры в реальном времени во всём рабочем диапазоне длин волн. При этом согласно теореме Котельникова теряется информация о пространственных частотах со значениями выше, чем $1/2d$, где d – шаг структуры линейки. Кроме того, фотодиоды линейки имеют апертурную характеристику, дополнительно искажающую форму спектральных линий. Все это ухудшает разделение близкорасположенных спектральных линий, затрудняя измерение интенсивности аналитических линий на фоне мешающих.

В данной работе предлагается решение задачи восстановления распределения интенсивности излучения на поверхности линейки фотодиодов. Используемый метод аналогичен одному из алгебраических методов из арсенала, применяемого в реконструктивной томографии. Для восстановления необходимо зарегистрировать набор спектров, отличающихся положением относительно фотодиодов на шаг Δ , где $\Delta \ll d$. Метод основан на решении переопределенной системы линейных уравнений вида: $Af = b$, где A – матрица апертурных характеристик, b – вектор зарегистрированных спектров, f – восстановленный спектр. На рис.1 представлен результат восстановления фрагмента спектра лампы полого катода в области 334 нм.

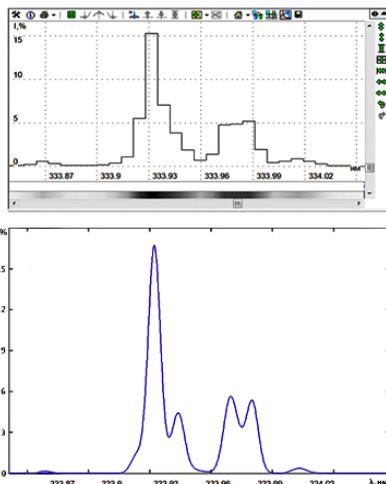


Рис.1 Фрагмент спектра: сверху – зарегистрированный спектр, снизу – восстановленный

Научный руководитель – д-р техн. наук В. А. Лабусов.

АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ УЛЬТРАКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ В СХЕМЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИФРАКЦИИ

А. М. Вьюнышев, А. А. Иконников, Г. И. Поспелов
Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Прогресс в изучении быстротекающих процессов связан с развитием как методов генерации ультракоротких импульсов (УКИ), так и способов их измерения. Для измерения длительности УКИ наиболее часто используются нелинейно-оптические методы, в частности, основанные на генерации второй гармоники двух неколлинеарных пучков в условиях углового фазового синхронизма. Однако достижение углового синхронизма становится затруднительным при продвижении в область дальнего и вакуумного ультрафиолета и поэтому возникает необходимость прибегать к использованию других типов фазового согласования. Так, в последние годы широко исследуются различные типы фазового согласования, реализуемые в рандомизированных нелинейных средах, представляющих собой последовательность антипараллельных сегнетоэлектрических доменов. Согласно принятой классификации данные среды являются нелинейными фотонными кристаллами (НФК). Особенность рандомизированной структуры заключается в наличии широкого спектра векторов обратной решетки, который позволяет достичь квазисинхронизма в процессе нелинейно-оптического преобразования в широком спектральном диапазоне. В связи с этим, представляет интерес автокорреляционная схема с использованием нелинейной дифракции от виртуального пучка (НЛДВП)[1].

В настоящей работе исследована НЛДВП в НФК тетрабората стронция (SrB_4O_7 , SBO) и изучены основные характеристики автокорреляционной методики, основанной на этом эффекте. В отличие от [1], нелинейная среда, использованная в нашем эксперименте, представляла собой не периодический, а сильно рандомизированный НФК. Другим отличием является использование традиционной автокорреляционной оптической схемы с пространственно фиксированным и контролируемым временным перекрытием вместо схемы с неконтролируемым временным перекрытием. Излучение от фемтосекундного задающего генератора разделялось на два параллельных пучка, которые при помощи цилиндрической линзы были сфокусированы в НФК. Один из пучков распространялся через оптическую линию задержки, позволявшую контролировать время прихода фемтосекундного импульса в НФК относительно импульса во втором пучке и тем самым обеспечить их временное перекрытие внутри НФК.

В одномерном НФК для нелинейной дифракции возможны две геометрии взаимодействия. В первом случае волновые векторы падающего излучения лежат в плоскости, перпендикулярной плоскости доменов. При этом задействован наибольший нелинейный коэффициент тетрабората

стронция $d_{\text{сcc}}$. Во втором случае пучки накачки лежат в плоскости доменов, и используется нелинейный коэффициент $d_{\text{саа}}$.

Для автокорреляционных измерений мы использовали первую геометрию. Положение НФК было отрегулировано для нахождения максимума сигнала НЛДВП. Меняя задержку между падающими пучками, мы измерили автокорреляционную функцию с помощью НФК SBO, а также с помощью образца сравнения, в качестве которого мы использовали пластинку кристалла бета-бората бария ($\beta\text{-BaV}_2\text{O}_4$, ВВО) толщиной 0.5 мм, вырезанную в направлении углового синхронизма. Измеренная длительность импульса в НФК SBO была 82.1 фс, в то время как измерения с использованием ВВО дают 81.8 фс.

В случае углового фазового синхронизма в кристалле ВВО средняя мощность автокорреляционного сигнала $P_{\text{ВВО}}$ была приблизительно в 200 раз выше, чем в случае нелинейной дифракции от виртуального пучка в SBO, что объясняется высокой степенью рандомизации последнего [2]. Высокая степень рандомизации не только позволяет наблюдать НЛДВП в широком диапазоне углов, но также позволяет улучшить отношение сигнал/шум. Был измерен контраст автокорреляционной функции; для НФК SBO он составил 1600, а для ВВО - 21100. В то же время фон при использовании ВВО (40 нВт) оказывается более чем в 10 раз выше, чем в случае SBO (3 нВт). Кроме того, контраст в наших исследованиях был значительно лучше, чем в других автокорреляционных экспериментах с нерегулярными средами [3]. Дополнительно были проведены измерения для двух разных длин волн задающего генератора, а именно, 760 и 780 нм. Эти измерения были выполнены в тех же условиях, что и в случае центральной длины волны 800 нм, без подстройки положения НФК. В целом результаты воспроизводят таковые, полученные для центральной длины волны 800 нм.

Таким образом, показано, что точность автокорреляционных измерений, использующих эффект НЛДВП, не уступает угловому фазовому синхронизму. Перестройка центральной длины волны измеряемого импульса не требует подстройки положения НФК. НФК SBO является привлекательным материалом для диагностики импульсов в коротковолновой области спектра.

1. S. M. Saltiel, D. N. Neshev, W. Krolikowski, N. Voloch-Bloch, A. Arie, O. Bang, and Y. S. Kivshar, Phys. Rev. Lett. 104, 083902. 2010.

2. R. Fischer, S. M. Saltiel, D. N. Neshev, W. Krolikowski, and Yu. S. Kivshar, Appl. Phys. Lett. 89, 191105 (2006).

3. R. Fischer, D. N. Neshev, S. M. Saltiel, A. A. Sukhorukov, W. Krolikowski and Yu. S. Kivshar, Appl. Phys. Lett. 91, 031104. 2007.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент
А. С. Александровский.

ЛЭМБОВСКИЙ СДВИГ АТОМОВ В ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛАХ

Р. Х. Гайнутдинов, Е. В. Зайцева, М. А. Хамадеев
Казанский (Приволжский) федеральный университет

В настоящее время большой интерес представляет исследование фотонных кристаллов - материалов с периодическим изменением функции диэлектрической проницаемости среды в пространственных направлениях. Это привело к созданию множества оптических устройств. В то же время изучаются теоретические вопросы описания взаимодействия света с фотонными кристаллами и атомами, находящимися в них. Главной особенностью фотоннокристаллической структуры является наличие фотонных запрещенных зон, что влечет за собой возможность контроля спонтанного излучения атомов в таких материалах. Широкий спектр теоретических работ, посвященных фотонным кристаллам, связан с расчетом лэмбовского сдвига. Изотропная модель дисперсионных соотношений [1] предсказывает аномальный лэмбовский сдвиг и расщепление уровней многоуровневых атомов. Для двухуровневых атомов анизотропная модель предполагает, что лэмбовский сдвиг должен быть много меньше по сравнению с вакуумом, в то время как в работе [2] предсказывается, что лэмбовский сдвиг отличается незначительно в фотонных кристаллах от его вакуумного значения. С другой стороны, в работе Ванга [3] показано, что фотоннокристаллическая структура может привести к гигантскому значению лэмбовского сдвига. Как правило, при исследовании подобных вопросов используют стандартные методы квантовой электродинамики в вакууме. Однако, в фотонных кристаллах это чревато потерей информации об особенностях электромагнитного взаимодействия в таких сложных средах. В частности, в данной работе проведен расчет лэмбовского сдвига при учете нетривиальности дисперсионных соотношений в фотонном кристалле. Показано, что величина лэмбовского сдвига в этом случае имеет существенное различие.

Работа выполнена при поддержке гранта Российской Федерации НШ-5289.2010.2.

1. S. John, T. Quang, Spontaneous emission near the edge of a photonic band gap, Phys. Rev. A, 50, 1764, (1994).

2. Z. Y. Li, Y. Xia, Optical photonic band gaps and the Lamb shift, Phys. Rev. B, 63, 121305, (2001).

3. X.-H. Wang et al., Spontaneous emission and lame shift in photonic crystals, STAM, 6, 814, (2005).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Р. Х. Гайнутдинов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИИ КВАДРАТИЧНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ХРОМОФОР-СОДЕРЖАЩИХ ПОЛИИМИДОВ

А. И. Горковенко

Институт автоматики и электротехники СО РАН, г. Новосибирск

В последние годы хромофор-содержащие полимеры привлекают особое внимание с точки зрения применения в электрооптических устройствах. Пленки хромофор-содержащих полимеров, поляризованные во внешнем электрическом поле, демонстрируют более высокие, чем в кристаллических структурах, величины квадратичной нелинейности – достигнуты рекордные величины макроскопических электрооптических коэффициентов до 500 пм/В, при полуволновом напряжении порядка 0.5 В. Другой важной особенностью данных структур является возможность широкого варьирования молекулярной структуры с целью повышения температурно-временной стабильности.

Несмотря на большой интерес к хромофор-содержащим полимерам, в литературе имеется достаточно мало работ, посвященных комплексным исследованиям их квадратичной нелинейности.

В данной работе изучались поляризованные пленки новых синтезированных хромофор-содержащих полиимидов с включением двух типов красителей – DR-1 и DR-13. Образцы имели пики поглощения, расположенные в области 490-520 нм.

С помощью спектральной эллипсометрии были получены зависимости показателей преломления и коэффициентов экстинкции для исследованных пленок в диапазоне от 400 до 800 нм.

Изучение квадратичной нелинейной восприимчивости производилось методом регистрации угловой зависимости сигнала генерации второй при наносекундном возбуждении излучением параметрического генератора света “Solar”. Фундаментальная длина волны возбуждающего излучения изменялась в диапазоне от 800 до 1400 нм.

В работе были получены дисперсии квадратичных нелинейных коэффициентов d_{31} и d_{33} в области поглощения хромофора. Максимальные значения нелинейных коэффициентов составили 25-50 пм/В. Все исследованные образцы показали высокую радиационную стойкость на длине волны возбуждающего излучения.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук А. И. Плеханов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯНИЯ ПЛОСКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ТОНКОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ЦИЛИНДРЕ КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ

А. Г. Дмитренко, Е. П. Гольцварт
Томский государственный университет

Задача рассеяния электромагнитной волны на тонком диэлектрическом цилиндре конечной длины представляет интерес для исследователей, занимающихся решением таких проблем как влияние диэлектрических объектов на характеристики антенн, снижение радиолокационной заметности и др. Несмотря на кажущуюся простоту рассеивателя, известно очень мало работ, в которых приведены характеристики рассеяния конкретных цилиндров.

Постановка задачи. В безграничной однородной среде расположен тонкий прямолинейный диэлектрический цилиндр радиуса r_0 и длины L , характеризующийся относительной диэлектрической проницаемостью ε . Цилиндр возбуждается плоской электромагнитной волной. Требуется найти рассеянное поле.

Для решения задачи использован метод вспомогательных источников. Рассеянное поле во внешней среде представлено в виде суммы полей нитей электрического и магнитного токов, расположенных на оси диэлектрического цилиндра. Поле внутри цилиндра представлено в виде суммы полей электрических диполей, расположенных на цилиндрической вспомогательной поверхности, охватывающей диэлектрический цилиндр. Неизвестные распределения осевых электрического и магнитного токов, а также неизвестные дипольные моменты определяются как решение системы линейных алгебраических уравнений, полученной с использованием граничных условий на поверхности диэлектрического цилиндра.

Использованный подход к решению рассматриваемой задачи реализован в виде компьютерной программы, с помощью которой рассчитаны характеристики рассеяния цилиндров различных радиуса, длины и значений относительной диэлектрической проницаемости. Результаты расчетов будут представлены в докладе.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Г. Дмитренко.

КОРОТКОВОЛНОВЫЙ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ИТТЕРБИЕВЫЙ ЛАЗЕР

Е. И. Донцова

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный технический университет

Волоконные лазеры, работающие в видимом диапазоне спектра, могут найти широкое применение в биомедицине, проточной цитометрии, научных исследованиях и ряде других приложений. Это обусловлено высокой стабильностью волоконных лазерных систем, лёгкостью и удобством в эксплуатации (отсутствие юстировочных элементов).

Стабильная генерация на длине волны 1030 нм с последующим удвоением в кристалле КТР со вторым типом векторного синхронизма уже были получены, опубликованы соответствующие материалы [1]. Особый интерес заключается в возможности плавной перестройки частоты излучения лазера, что удобно в применениях, требующих селективного воздействия.

В работе лаборатории уже был создан лазер с перестройкой и удвоением частоты, генерирующий в области 540–560 нм [2]. Генерация в коротковолновой области затруднена сильным поглощением Yb⁺ на длинах волн короче 1040 нм (при удвоении от 520 нм и короче).

В данной работе исследования проводились в диапазоне длин волн порядка 510–520 нм (с перестраиваемыми решётками Брэгга диапазоном ~ 1020–1040 нм для получения основной частоты). Произведён расчет геометрии кристалла для плоскости синхронизма XY, получены кривые синхронизма по температуре, углу падения излучения на кристалл и длине волны генерации.

При перестройке частоты лазера мощность ИК-излучения остаётся практически неизменной, в то время как для мощности видимого излучения наблюдается выраженный максимум на длине волны ~ 1032 нм, в соответствии с расчётной компенсацией сноса волны в кристалле. Максимальный коэффициент преобразования излучения во вторую гармонику для перестраиваемого лазера составил величину 1.4×10^{-3} (1/Вт).

1. Kablukov S. I., Dontsova E. I., Akulov V. A., Vlasov A. A., Babin S. A., Frequency doubling of Yb-doped fiber laser to 515 nm, *Laser Physics*, -2010, No. 2, -p.360-364.

2. V. A. Akulov, S. A. Babin, S. I. Kablukov, and A. A. Vlasov, Fiber Lasers with a Tunable Green Output, *Laser Physics*, -2008. –Vol. 18, No. 11. –p. 1225-1229.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. И. Каблуков.

ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ПОД ДЕЙСТВИЕМ СВЕТА

А. К. Заневский, Н. Н. Рекунова

Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
г. Хабаровск

Среди механизмов нелинейности, использующихся в динамической голографии (и проявляющихся, в частности, при самовоздействии излучения), большую группу составляют механизмы рельефной записи голограмм, основанные, например, на тепловом расширении среды, световом давлении, эффекте Марангони, термоиндуцированных фазовых переходах (плавлении или испарении).

В данной работе исследована рельефная поверхностная нелинейность, которая возникает за счет тепловой деформации тонкой полимерной пленки [1]. В экспериментах использовалась полимерная пленка толщиной 80 мкм, с коэффициентом зеркального отражения вблизи нормального угла падения 6% и коэффициентом пропускания света около 0,25 %. В результате самовоздействия падающего на пленку излучения гелий-неонового лазера (мощность – 60 мВт, $\lambda=633$ нм, диаметр пучка – 4 мм), в течение нескольких секунд на поверхности пленки возникала область с выпуклой отражающей поверхностью, радиус кривизны которой соответствует фокусному расстоянию 10 см.

Для анализа явления рассмотрена модель тонкой пленки, в которой неоднородный нагрев и тепловое расширение приводит к деформации пленки.

1. В. И. Иванов, К. Н. Окишев, С. В. Климентьев. Термодеформационный механизм поверхностной нелинейности // Международный оптический конгресс «Оптика – XXI век» Сб. трудов конференции «Фундаментальные проблемы оптики» 18–21 октября 2004. СПб. С. 287.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доцент В. И. Иванов.

ПЛАНАРНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛНОВОДНЫЕ СТРУКТУРЫ Zn:LiNbO_3

К. А. Заринг, Т. Н. Кондрашова, С. А. Ламонова, С. А. Смычков,
В. В. Щербина, С. Ф. Халикулова

Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники
Томский государственный университет

Кристаллы ниобата лития находят широкое применение в различных оптических устройствах, и предоставляют возможность изменения его свойств путем варьирования состава [1]. Оптические волноводы, полученные диффузией цинка в ниобат лития, считаются обладающими повышенной стойкостью к интенсивному лазерному излучению [2].

Для формирования исследованных в работе планарных волноводов использовались подложки конгруэнтного ниобата лития X -среза. Пленки ZnO на LiNbO_3 получали из пленкообразующих растворов методом вытягивания. В качестве исходных веществ были выбраны соль нитрата цинка и салициловая кислота, растворителя – 96%-ный этанол. Для проведения диффузии пластины ниобата лития с пленками ZnO отжигались в несколько этапов при температурах от 870 до 1100 °С. После каждого этапа отжига и дополнительной полировки производились измерения спектра эффективных показателей преломления волноводных мод и показателя преломления подложки методом призмного ввода-вывода излучения. В результате определены технологические условия, при которых волноводы поддерживали распространение вдоль оси Y ТЕ-мод с длинами волн $\lambda = 526,5, 532, 633$ и 1053 нм, а также проведены исследования спектра мод и оптической стойкости к излучению с $\lambda = 532$ нм по схеме, описанной в [3].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 09-02-00609_а) и ФЦП (Г.К. № 02.740.11.0553). Авторы благодарят С. А. Кузнецову, Л. Я. Серебренникова и М. В. Бородина за помощь в проведении технологических операций.

1. Сидоров Н. В. Ниобат лития: дефекты, фоторефракция, колебательный спектр, поляритоны // М.: Наука, 2003. – 255 с.

2. W. M. Young, R. S. Feigelson, M. M. Fejer, M. J. F. Digonnet, H. J. Shaw. Opt. Lett. 16, 995 (1991).

3. D. Eger, M. A. Arbore, M. M. Fejer, and M. L. Bortz. High intensity illumination effects in LiNbO_3 and KTiOPO_4 waveguides // J. Appl. Phys. – 1997. – V. 82, №. 3. – P. 996–1005.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. М. Шандаров.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ВОЛОКНЕ С СОХРАНЕНИЕМ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Е. А. Злобина

Институт автоматики и электротриии СО РАН, г. Новосибирск

Параметрическое четырехволновое взаимодействие широко применяется для преобразования частот когерентного излучения в оптических волокнах. В связи с этим повышенное внимание уделяется созданию и исследованию волоконно-оптических параметрических генераторов (ВОПГ), которые позволяют получить относительно высокую эффективность преобразования и большие частотные сдвиги до 130 ТГц в видимом и ближнем ИК спектральных диапазонах [1].

Параметрический процесс идет эффективно при согласовании фазы четырех взаимодействующих волн. В современных ВОПГ согласование фаз проходит вблизи длины волны нулевой дисперсии фотоникристаллических волокон, обладающих подходящими дисперсионными характеристиками и высоким нелинейным коэффициентом. Однако такие волокна дороги в изготовлении. Кроме того, для длин волн вблизи 1 мкм и короче эффективность преобразования для параметрического процесса с увеличением частоты излучения составляет всего сотые доли процента [2]. В качестве альтернативного варианта нами впервые исследовались перспективы получения эффективной непрерывной параметрической генерации вблизи 1 мкм в волокнах с сохранением поляризации.

В настоящей работе излучение неполяризованного волоконного иттербиевого лазера с длиной волны 1048 нм запускалось вместе с затравочным сигнальным излучением на 1080 нм в волокно с сохранением поляризации Nufern PM980-XP. На выходе генерировалась новая (холостая) волна со сдвигом частоты в коротковолновую область спектра на 8,6 ТГц. В итоге получен одномодовый поляризованный источник излучения на длине волны 1017 нм и мощностью до 40 мВт. Эффективность преобразования определялась как отношение мощностей холостой и сигнальной волны на выходе [2] и составила 3,3% для мощности накачки 4 Вт.

1. A. Y. H. Chen et al., Widely tunable optical parametric generation in a photonic crystal fiber, *Optics Letters*, **30**, 762 (2005).

2. Ю. П. Яценко и др., Четырехволновое смешение в двухслойных микроструктурированных световодах, *Квантовая электроника*, **35**, 715 (2005).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. И. Каблуков.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХПУЧКОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВЕТА НА ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ ФОТОРЕФРАКТИВНОЙ РЕШЕТКЕ В КРИСТАЛЛЕ $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$

П. В. Зуев, Е. А. Пекарских, А. А. Борисенко
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

Двухпучковое взаимодействие света на фоторефрактивных решетках отражательного типа в кристаллах характеризуется высокой эффективностью в отсутствие приложенных внешних полей [1].

В настоящем сообщении представлены результаты теоретического анализа и экспериментального исследования двухпучкового взаимодействия световых волн на отражательных голографических решетках, формируемых лазерным излучением с длиной волны 532 нм в легированном железом кристалле ниобата лития. Формирование отражательной голограммы происходит за счет перераспределения зарядов в кристалле при его неоднородном освещении интерференционной картиной, образованной прошедшим через кристалл опорным пучком и отраженным от выходной грани. Эксперименты по исследованию динамики изменения интенсивностей опорного и отраженного пучков проводились по известной методике [1], при двух различных ориентациях вектора поляризации входного излучения.

Для математического описания динамики изменения интенсивностей опорного и отраженного пучков использовалась одноуровневая модель зонного переноса, в которой, кроме фотовольтаического механизма разделения заряда, учитывался также и диффузионный механизм.

Проведенные экспериментальные исследования и теоретический анализ позволили уточнить параметры модели, использованной для описания двухпучкового взаимодействия световых волн на отражательных голографических решетках в легированном железом кристалле ниобата лития.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы» и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (гос. конт. 02.740.11.0553)

1. Е. Ю. Агеев, С. М. Шандаров, С. Ю. Веретенников, А. Г. Мартыанов, В. А. Карташов, А. А. Камшилин, В. В. Прокофьев, В. В. Шепелевич, Квантовая электроника, 31, № 4, 343-345, (2001).

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Н. И. Буримов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДОВ С ВЫТЕКАНИЕМ СВЕТА НА ОСНОВЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

М. С. Иванов, А. О. Маркин, А. Б. Мухтубаев, В. Ю. Рябченко
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

Планарные оптические волноводы на основе фоторефрактивного ниобата лития (LiNbO_3) представляют значительный интерес с точки зрения реализации полностью оптических и оптоэлектронных элементов для лазерных приборов и систем оптической обработки информации. Целью данной работы явилось исследование явления вытекания света в подложку из анизотропных планарных волноводов, полученных в ниобате лития протонным обменом с сопутствующим внедрением ионов меди, а также диффузией титана.

Оптические волноводы созданы в подложках X- и Y- срезов. Оптическая ось в плоскости подложек ориентирована так, что свет в волноводе (и в объеме подложки) распространяется в направлениях, составляющих с оптической осью углы $\pm 45^\circ$. Как известно [1], при возбуждении TE мод в волноводе подобной ориентации, наблюдается вытекание света из волноводного слоя в подложку в виде волны с обыкновенной поляризацией. Исходя из принципа обратимости, при распространении обыкновенной волны в обратном направлении в волноводе должны возбуждаться TE моды, что может быть использовано для реализации электрооптических и акустооптических модуляторов [2].

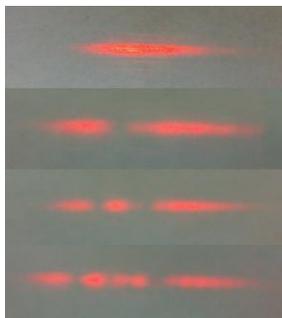


Рис. 1

В результате исследований обнаружено, что в образце, полученном диффузией титана, наблюдается возбуждение TE мод различных порядков (Рис. 1).

1. K. Yamanouchi, T. Kamiya and K. Shibayama. New leaky surface waves in anisotropic metal - diffused optical waveguides // IEEE Trans. on MTT. – 1978. -Vol. MTT-26.-pp. 298-305 .

2. В. М. Шандаров. Электрооптическая модуляция света при полном внутреннем отражении от поверхности ниобата лития с анизотропным оптическим волноводом // Письма в ЖТФ.-1994.- т. 20.- вып. 21.-с. 34-39.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. М. Шандаров.

ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ АТОМОВ В ПОЛЕ СИЛЬНОЙ СТОЯЧЕЙ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ

Р. Я. Ильенков¹, Д. В. Бражников^{2,3}, А. В. Тайченачев^{2,3}, В. И. Юдин¹⁻³

¹ Новосибирский государственный технический университет

² Институт лазерной физики СО РАН

³ Новосибирский государственный университет

Охлаждение и локализация нейтральных атомов с помощью световых пучков является стремительно развивающейся областью на стыке атомной и лазерной физики. Современный интерес к этому направлению связан, прежде всего, с большим разнообразием важных применений как в фундаментальной науке, так и в технике (сверхпрецизионные стандарты частоты и времени, имеющие относительную погрешность вплоть до 10^{-17} , нанолитография, конденсация Бозе-Эйнштейна и многое другое).

Однако все это стало возможным только благодаря более глубокому пониманию механизмов взаимодействия электромагнитного поля с атомами. При взаимодействии атомов с полем происходит как обмен энергией, так и обмен количеством движения между фотонами и атомами, что позволяет ускорять, замедлять и захватывать атомы в оптические ловушки [1,2]. В частности, известно, что в поле слабой стоячей световой волны атомы локализуются в минимумах оптического потенциала (в пучностях интенсивности поля при красной отстройке частоты).

В настоящей работе исследуется новый эффект в локализации атомов - аномальная локализация в максимуме или на склоне оптического потенциала. Для изучения этого эффекта используется ранее разработанный нами метод, позволяющий рассчитывать стационарные координатные и импульсные распределения с полным учетом эффектов отдачи в полях произвольной интенсивности [3].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№№ 11-02-01240, 10-02-00406, 10-02-00987), Президиума СО РАН и Минобрнауки РФ в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (2011). Д. В. Б. также был поддержан грантом Правительства Новосибирской области.

1. А. П. Казанцев, Г. И. Сурдугович, В. П. Яковлев, Механическое действие света на атомы. Москва, «Наука», 1991.

2. В. Г. Миногин, В. С. Летохов, Давление лазерного излучения на атомы. М.: Наука, 1986.

3. О. Н. Прудников, Р. Я. Ильенков, А. В. Тайченачев, А. М. Тумайкин, В.И. Юдин, Стационарное состояние атомов в монохроматическом поле с учетом эффектов отдачи, принята к печати, ЖЭТФ, Т. 139, вып. 4, 2011.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. И. Юдин.

ТЕРАГЕРЦОВАЯ ГОЛОГРАФИЯ НА ЛАЗЕРЕ НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

Т. Н. Иргалин, Ю. Ю. Чопорова
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Методы классической голографии и интерферометрии широко используются в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах. В последние годы с появлением источников и приемников терагерцового излучения началось освоение этого диапазона. Основные успехи в этой области достигнуты при использовании широкополосных источников на основе фемтосекундных лазеров. Вследствие специфики этих источников, - короткой длительности импульса и крайне малой мощности, - до настоящего времени в терагерцовом диапазоне использовались голографические методы, существенно отличающиеся от классических [1]. Благодаря запуску в Новосибирске мощного терагерцового лазера на свободных электронах (ЛСЭ) [2], генерирующего когерентное монохроматическое излучение, и разработке методов визуализации этого излучения появилась возможность реализовать в этом диапазоне схемы голографии и томографии в их классическом варианте.

Используя три метода визуализации терагерцового излучения (термограф, термочувствительный люминесцентный экран в комбинации со скоростной ПЗС-камерой, неохлаждаемый матричный микроболометрический приемник (ММБП)), выполнена запись голограмм и интерферограмм различных амплитудно-фазовых объектов в реальном времени. Измерена длина когерентности излучения ЛСЭ с помощью модифицированного интерферометра Маха-Цандера.

Приведены результаты восстановления голограмм, определено пространственное разрешение восстановленных изображений объектов при длине волны 130 мкм.

1. S. Wang, X.-C. Zhang. Pulsed terahertz tomography. J. Phys. D: Appl. Phys. 37. 2004. R1–R36.

2. B. A. Knyazev, G. N. Kulipanov, N. A. Vinokurov. Novosibirsk terahertz free electron laser: instrumentation development and experimental achievements. Measurement Science and Technology, 2010.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Б. А. Князев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ АМПЛИТУДНОГО ПРОФИЛЯ ОДНОМЕРНОГО ГАУССОВА ПУЧКА В НЕЛИНЕЙНОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ ФАБРИ-ПЕРО

С. М. Козлова, А. С. Перин

Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Цель работы: компьютерное моделирование и экспериментальное исследование трансформации профиля интенсивности квазиодномерного гауссова пучка в нелинейном интерферометре Фабри-Перо на основе фоторефрактивного ниобата лития (LiNbO_3).

В экспериментах излучение твердотельного лазера YAG:Nd^{3+} с длиной волны $\lambda = 532$ нм и мощностью около 35 мВт с помощью коллиматора и цилиндрических линз формируется в виде пучка с эллиптическим поперечным сечением. Этот пучок проходит через пластину LiNbO_3 Y среза толщиной 2 мм в направлении нормали к ее плоскости. Поляризация света соответствует необыкновенной волне в кристалле, направление большей полуоси эллипса перпендикулярно оптической оси кристалла.

Приповерхностная область пластины легирована комбинацией ионов железа (Fe) и меди (Cu) путем последовательной термической диффузии, что сделало ее фоточувствительной. Время экспонирования образцов лазерным лучом составляло около 3 минут. В процессе экспонирования наблюдались значительные изменения распределения интенсивности света в поперечном сечении пучка (рис. 1 а). Численное моделирование профилей

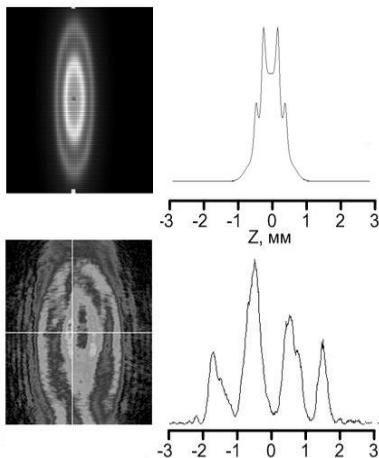


Рис 1 - Распределение интенсивности светового пучка

а) моделирование, б) эксперимент

интенсивности когерентного пучка в интерферометре Фабри-Перо на основе фоторефрактивного материала подтвердило существенную роль многолучевой интерференции в характере изменения его поперечного профиля (рис. 1 б).

Результаты исследования могут быть использованы при создании оптически управляемых элементов для синтеза когерентных световых полей с требуемой пространственной структурой.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. М. Шандаров.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА ЛАЗЕРНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ АТОМНО-ЭМИССИОННЫХ СПЕКТРОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ

С. Н. Кузнецов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Лазерно-искровая эмиссионная спектроскопия (ЛИЭС) – мобильный аналитический метод. В этом методе, как правило, используется импульсное лазерное излучение с низкой энергией (обычно, с энергией от десятков до сотен миллиджоулей в импульсе) и фокусирующая линза для того, чтобы испарить очень малое количество пробы и получить плазму. Спектры испускания возбужденных атомов, как правило, используются для проведения элементного анализа. Под воздействием лазерного импульса происходит абляция материала образца, вещество атомизируется, ионизируется, возбуждаются практически все атомные и ионные переходы. Интенсивности спектральных линий измеряются с помощью многоканальных спектрометров с последующим вычислением концентраций определяемых элементов таблицы Менделеева по градуировочным зависимостям.

В данной работе исследовано влияние параметров источника лазерного возбуждения атомно-эмиссионных спектров на интенсивность спектральных линий. В качестве источника возбуждения использовался двухимпульсный YAG:Nd лазер с электрооптической модуляцией добротности, работающий на основной длине волны 1064 нм. Лазер позволяет достигнуть плотности мощности лазерного пучка выше 1 ГВт/см^2 (от 0,9 до 20 ГВт/см^2), достаточной для формирования высокотемпературной (более $10000 \text{ }^\circ\text{K}$) лазерной плазмы. В качестве исследуемого материала был комплект стандартных образцов для спектрального анализа сталей типа P18. Определяемые элементы хром, вольфрам, молибден, ванадий, кремний, марганец.

Получены зависимости интенсивности аналитических линий определяемых элементов от плотности энергии (изменялись энергия импульса от 300 мДж до 600 мДж и размер пятна от 300 мкм до 1000 мкм), интенсивности спектральных линий от времени задержки между импульсами, также были проверены зависимости от частоты повторения импульса и размера пятна при постоянной плотности энергии. Показано, что минимальные пределы обнаружения определяемых элементов получаются при максимальной плотности энергии (600 мДж при размере пятна 300 мкм) и при задержке между импульсами 1 мкс.

Научный руководитель – д-р. техн. наук В. А. Лабусов.

АТОМНО-АБСОРБЦИОННЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ С НЕПРЕРЫВНЫМ ИСТОЧНИКОМ СПЕКТРА И МНОГОКАНАЛЬНЫМ СПЕКТРОМЕТРОМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

С. С. Курилко

Институт автоматики и электротехники СО РАН
Новосибирский государственный технический университет

Атомно-абсорбционный спектральный анализ (ААС) имеет широкое распространение в аналитической практике. Традиционно в атомной абсорбции используется метод Уолша, заключающийся в непосредственном измерении коэффициента поглощения в центре линии. Достоинствами метода Уолша являются: низкие пределы обнаружения (до тысячных долей микрограмм/литр), относительно небольшое разрешение спектрального прибора (порядка 0,1 нм). Существенным недостатком – низкая производительность (за одно измерение определяется концентрация только одного элемента таблицы Менделеева, использование для каждого элемента собственного источника спектра).

Одновременное определение концентраций нескольких десятков элементов возможно при использовании источника непрерывного спектра. Однако до недавнего времени считалось, что использование в ААС непрерывного источника спектра не перспективно из-за ухудшения пределов обнаружения элементов в 100 раз [1]. Появление многоканальных спектрометров высокого разрешения даёт надежду на получение с непрерывным источником спектра пределов обнаружения сопоставимых с методом Уолша. Пределы обнаружения зависят от относительного среднеквадратического отклонения (ОСКО) источника, спектрального разрешения спектрометра.

В работе проводилась оценка пределов обнаружения элементов таблицы Менделеева с использованием непрерывного источника спектра и многоканального спектрометра высокого разрешения. В качестве источника использовались ксеноновая и дейтериевая лампы, а в качестве спектральных приборов – спектрометры «Гранд», «Экспресс», «Колибри» с различным разрешением. В результате получена оценка, что пределы обнаружения ухудшатся не более чем в 3 раза и данный метод позволит проводить одновременный многоэлементный анализ.

1. Б. В. Львов, Атомно-абсорбционный спектральный анализ, «Наука», 1966.

Научные руководители – А. Н. Путьмаков, д-р техн. наук
В. А. Лабусов.

ОСОБЕННОСТИ КОГЕРЕНТНОГО СЛОЖЕНИЯ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ

В. Е. Лещенко

Институт лазерной физики СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время линейные одноканальные схемы построения мощных фемтосекундных лазерных систем достигли своего практического предела, и наиболее перспективным методом создания сверхмощных лазерных систем является когерентное сложение излучения ряда усилительных каналов. В ИЛФ СО РАН ведутся работы по созданию на основе параметрического усиления двухканальной мультитераваттной малопериодной фемтосекундной лазерной системы с когерентным сложением полей.

Для реализации когерентного сложения необходима стабилизация относительной временной задержки (джиттера) импульсов всех каналов, вклад в которую дают флуктуации температуры воздуха, оптического стенда и кристаллов, в которых происходит усиление, механические вибрации зеркал и процессы параметрического усиления.

В работе проанализированы различные схемы когерентного сложения фемтосекундных импульсов. В частности, рассмотрена схема когерентного сложения с применением параболического зеркала. В этой схеме пиковая интенсивность суммарного импульса в N^2 (N – число складываемых каналов) раз превышает пиковую интенсивность исходного импульса I_0 . Анализ влияния джиттера на интенсивность показывает, что для получения пиковой интенсивности $> 0.95 \times N^2 \times I_0$ необходимо стабилизировать относительный джиттер на уровне 400 аттосекунд.

Для измерения относительного джиттера двух последовательностей импульсов с аттосекундным разрешением разработана и экспериментально реализована система, основанная на методе оптического гетеродинирования. С помощью этой системы измерен характерный вклад в джиттер представленных выше возмущений. Из экспериментальных данных установлено, что шумы сосредоточены в области частот ниже 1 кГц, следовательно, могут быть эффективно отработаны посредством стабилизации разницы длин каналов с помощью пьезокерамики с рабочей полосой несколько кГц, что позволит реализовать когерентное сложение импульсов параметрических каналов усиления на большой базе.

На основе измерений джиттера и анализа схем когерентного сложения определены перспективы использования различных методов когерентного сложения и способы уменьшения джиттера.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. И. Трунов.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И ВРЕМЕННАЯ МОДУЛЯЦИЯ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ФОТОННЫХ СТРУКТУР В ФПМ МАТЕРИАЛАХ

А. В. Лисовский, М. А. Ольджебаев, А. О. Семкин
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

Процесс голографического формирования дифракционных решеток в фотополимерных материалах (ФПМ) сопровождается процессами временной модуляции интенсивности световых пучков. В работе [1] описанный эффект объясняется механическими вибрациями, процессами двухпучкового взаимодействия и изменением коэффициента пропускания в процессе записи.

Целью данной работы является экспериментальное исследование пространственной и временной модуляции световых пучков в процессе формирования фотонных структур в ФПМ материалах, обусловленной эффектом самовоздействия света в нелинейном резонаторе Фабри-Перо.

Экспериментальное исследование модуляции световых пучков проводилось на образцах ФПМ, при Гауссовом распределении интенсивности. Для описания наблюдаемых эффектов использовалась математическая модель нелинейного резонатора Фабри-Перо [2] с учетом зависимости показателя преломления от интенсивности света, полученной решением кинетических уравнений записи. Результат моделирования, в качестве временной зависимости амплитудного профиля проходящего пучка, модуляции прошедшего и кинетики формирования дифракционных структур приведен на рис. 1.

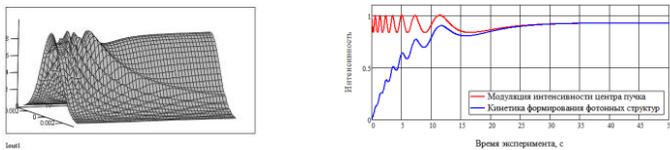


Рисунок 1. Модуляция световых пучков в процессе формирования фотонных структур.

1. Gleeson M. R., Kelly J. V., O'Neill F. T., Sheridan J. T. Recording beam modulation during grating formation // Applied Optics. 2005. V. 44..№ 26. P. 5475–5482.

2. Гиббс Хятт Оптическая бистабильность. Управление светом с помощью света. Пер. с англ.: С. П. Апасевич, Ф. В. Карпушко; ред. пер.: Ф. В. Карпушко. М.: Мир, 1988. 518 с.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. Н. Шарангович.

УЗКОПОЛОСНЫЙ САМОСКАНИРУЮЩИЙ ВОЛОКОННЫЙ ИТТЕРБИЕВЫЙ ЛАЗЕР

И. А. Лобач

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Для создания мощного одномодового волоконного лазера часто применяются иттербиевые волноводы с двойной оболочкой. Однако при получении мощного излучения в таких волноводах можно столкнуться с нежелательным эффектом, таким как самопульсации, который может привести к разрушению волокна. По этой причине существует множество работ исследующих режим самопульсаций и методы подавления этого режима. В настоящей работе впервые показано, что при определенных условиях самопульсации могут приводить к другому эффекту – самосканированию длины волны. Это означает, что в реализованном нами волоконном иттербиевом лазере с двойной оболочкой длина волны постоянно сканируется во времени без внешних перестраиваемых элементов.

В качестве активной среды лазера использовалось иттербиевое волокно с двойной оболочкой. В качестве зеркал лазера были: прямой скол волокна с одной стороны и волоконная брэгговская решетка (ВБР) или кольцевое зеркало (КЗ) на основе волоконного ответвителя и контроллера поляризации с другой. Известно, что подобные лазеры при небольших мощностях накачки работают в режиме самопульсаций. Анализ спектральных характеристик лазера показал, что режим самопульсаций сопровождается режимом самосканирования частоты, который ранее не наблюдался. Область сканирования определялась шириной плотного зеркала: для ВБР около 0.1 нм, для КЗ – 10 нм. Установлено, что длина волны генерации линейно растет со временем. Скорость сканирования лежит в пределах от 0.001 нм/мс до 0.02 нм/мс и зависит от мощности накачки и длины резонатора. Скорость сканирования корневым образом растет с увеличением мощности генерации лазера. При этом, чем короче лазер, тем быстрее происходит сканирование длины волны. Установлено, что ширина сканирующей линии составляет менее 0.01 нм. Это говорит о узкополосности реализовано лазера.

Таким образом, в работе впервые экспериментально продемонстрирован новый эффект в волоконном лазере – узкополосное самосканирование длины волны генерации. Причины эффекта пока остаются неизвестными, но некоторые гипотезы будут представлены в докладе.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. И. Каблуков.

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИСТОЧНИКА НЕКЛАССИЧЕСКОГО СВЕТА

А. А. Лямкина, С. П. Мощенко

Институт физики полупроводников СО РАН им. А. В. Ржанова
Новосибирский государственный университет

Полупроводниковые квантовые точки (КТ) в настоящее время широко исследуются для создания на их основе источников неклассического света. Так как КТ являются «искусственными атомами», они могут быть использованы в качестве источников перепутанных фотонных пар [1]. Этому препятствует ряд проблем с качеством КТ, в частности – шероховатость нижней гетерограницы, уширяющая линию люминесценции и влияющая на длину когерентности перепутанной пары. В данной работе мы показываем, что использование капельной эпитаксии позволяет выращивать высококачественные структуры с $\text{InAs} / \text{Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$ КТ с гладкой гетерограницей.

Структуры с $\text{InAs} / \text{Al}(\text{Ga})\text{As}$ КТ, исследуемые в данной работе, были выращены двумя принципиально разными методами – методом Странского-Крастанова (СК) и нанокapельной эпитаксией (НЭ). В спектре люминесценции (ФЛ) смачивающего слоя (СС) структуры СК линии отдельных фоновых повторений уширены и сильно перекрываются, вырождаясь в две широкие полосы, в то время как в спектре ФЛ структуры НЭ отчетливо видны отдельные узкие линии всех фоновых повторений. Так как уширение линии СС связано с шероховатостью границы смачивающего слоя [2], можно заключить, что качество гетерограницы значительно выше в случае структуры НЭ. Кроме того, отношения интенсивностей полос ФЛ КТ / СС доказывают, что эффективность сбора носителей заряда из смачивающего слоя в КТ структуре НЭ значительно выше, чем в структуре СК.

Таким образом, показано, что нанокapельная эпитаксия позволяет получать высококачественные структуры с $\text{InAs} / \text{AlGaAs}$ КТ с гладкой гетерограницей для последующих приложений в оптических приборах.

1. E. Stock, T. Warming, I. Ostapenko, S. Rodt, A. Schliwa, J. A. Töfflinger, A. Lochmann, A. I. Toropov, S. P. Moshchenko, D. V. Dmitriev, V. A. Haisler and D. Bimberg, *Applied Physics Letters*, 96, 093112 (2010).

2. T. S. Shamirzaev, A. M. Gilinsky, A. K. Kalagin, A. I. Toropov, A. K. Gutakovskii, K. S. Zhuravlev, *Semicond. Sci. Technol.* 21, 527 (2006).

Научный руководитель – д-р хим. наук Ю. Г. Галицын.

ФАЗОВЫЕ ТРАНСПАРАНТЫ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МОД ГАУССОВЫХ ПУЧКОВ НА ОСНОВЕ ФОТОРЕФРАКТИВНОГО НИОБАТА ЛИТИЯ

М. В. Монахова, Д. А. Евсеева

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Целью исследования является индуцирование фазовых элементов в фоторефрактивных кристаллах ниобата лития (LiNbO_3), предназначенных для преобразования мод гауссовых лазерных пучков.

Для формирования фазовых элементов использовался проекционный метод (источники излучения – светодиод с $\lambda = 455$ нм, $P = 0.5$ Вт или твердотельный лазер с $\lambda = 532$ нм, $P = 50$ мВт) при их исследовании - излучение гелий-неонового лазера с $\lambda = 633$ нм.

В экспериментах топология оптически индуцируемого фазового элемента задавалась амплитудными транспарантами разной конфигурации. Транспаранты размещались таким образом, что граница областей пропускания и непропускания была перпендикулярна направлению оптической оси кристалла. Для повышения фоторефрактивной чувствительности поверхность пластин LiNbO_3 X- и Y-срезом легировалась ионами железа и меди путем термической диффузии. После экспонирования образцов (в течение от 10 до 40 минут) исследовались изменения профилей интенсивности лазерного пучка при пропускании его через транспарант. На рис. 1 представлена картина распределения интенсивности в поперечном сечении лазерного пучка после одного из транспарантов, преобразующего основную моду гауссова пучка в гауссов пучок первого порядка, и соответствующий профиль интенсивности.

Таким образом, экспериментально продемонстрирована возможность формирования оптически индуцируемых и реконфигурируемых элементов для преобразования амплитудных профилей когерентных световых пучков в фоторефрактивных образцах ниобата лития.

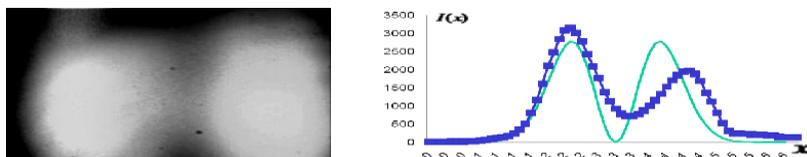


Рис. 1. Световая картина для прошедшего через транспарант лазерного пучка и соответствующий профиль интенсивности (— теория для Гауссова пучка первого порядка, —■ эксперимент).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. М. Шандаров.

ГЕНЕРАЦИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Н. А. Николаев

Институт автоматизации и электротехники СО РАН, г. Новосибирск

В настоящее время освоение терагерцового (ТГц) диапазона электромагнитного излучения является актуальным и быстроразвивающимся направлением современной физики. Важную роль в его развитии играют импульсные терагерцовые спектрометры. В лаборатории информационной оптики ИАиЭ СО РАН разработан и создан ТГц спектрометр на базе волоконного лазера с длительностью импульсов ~ 100 фс [1]. Генерация импульсного терагерцового излучения происходит в полупроводниковом материале под воздействием излучения лазера.

Проведено экспериментальное определение эффективности генерации терагерцового излучения в полупроводниковых материалах: GaAs, InAs и InSb. Показано, что наибольшую эффективность обеспечивает InAs.

Определена зависимость эффективности генерации терагерцового излучения при помещении InAs в постоянное магнитное поле. Показано, что при индукции магнитного поля 0,8 Тл наблюдается увеличение мощности ТГц излучения в $\sim 2,7$ раза.

Изучена зависимость эффективности генерации терагерцового излучения в InAs *n*- и *p*-типа от азимутального угла и плотности мощности лазерного излучения. Показано, что генерация ТГц излучения определяется двумя механизмами: фотоэффектом Дембера и эффектом оптического выпрямления. Установлено, что вклад эффекта оптического выпрямления в генерацию терагерцового излучения составляет ~ 37 % для *p*-InAs и ~ 33 % для *n*-InAs.

Полученные результаты согласуются с данными, представленными в литературе [2], и объясняются влиянием параметров полупроводниковых материалов (шириной запрещенной зоны, подвижностями носителей зарядов, коэффициентом поглощения лазерного излучения) на эффективность генерации терагерцового излучения.

1. В. Д. Анцыгин, А. А. Мамрашев, Н. А. Николаев, О. И. Потатуркин, Малогабаритный терагерцовый спектрометр с использованием второй гармоники фемтосекундного волоконного лазера, Автотехника, N 46, с. 110-117. 2010.

2. Arunas Krotkus, Semiconductors for terahertz photonics applications, J. Phys. D.: Appl. Phys., N 43, p. 2703001. 2010.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. Д. Анцыгин.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ В УСЛОВИЯХ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

А. Н. Парханюк

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Пироэлектрический эффект может вносить существенный вклад в характеристики нелинейно-оптических эффектов в сегнетоэлектрических кристаллах. Так, недавно продемонстрировано влияние пироэлектрического эффекта на дифракцию светового пучка в фоторефрактивном кристалле ниобата лития [1]. Целью данной работы является исследование влияния пироэлектрического эффекта на оптически индуцированное изменение показателя преломления в кристаллах ниобата лития (LiNbO_3), как в номинально чистых, так и легированных образцах.

В экспериментах использовалось излучение твердотельного YAG:Nd^{3+} лазера с $\lambda = 532$ нм и выходной мощностью до 50 мВт. Длина образцов вдоль оптической оси составляла от 5 до 8 мм. Зондирующее излучение фокусировалось на входную грань кристалла с помощью линз с фокусными расстояниями от 3 до 7 см. Распределения интенсивности света на выходной грани кристалла изучались с помощью ПЗС-камеры. В качестве нагревателя использовался элемент Пельтье с помощью которого температура кристалла могла повышаться до 80 °С.

Эксперименты проходили в 2 этапа. Вначале изучались световые картины на выходной плоскости исследуемого образца при комнатной температуре. Затем эксперимент повторялся при однородном нагреве кристалла. При этом наблюдалось существенное отличие в поведении световых пучков на выходной грани кристалла. При неизменной температуре в образце наблюдается сильное возрастание дифракционной расходимости пучка вследствие фоторефрактивного эффекта. В условиях однородного нагрева примерно через 10 минут после начала эксперимента наблюдается полная компенсация нелинейного изменения дифракционной расходимости светового пучка. Компенсацию дифракции можно объяснить вкладом пироэлектрического эффекта, приводящим к светоиндуцированному изменению показателя преломления среды [2].

1. Jassem Safioui, Fabrice Devaux, and Mathieu Chauvet, Optics Express, 17, 22209 (2009)

2. И. С. Желудев. Физика кристаллических диэлектриков. М.: «Наука» 1968. – 459 с.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. М. Шандаров.

ЭФФЕКТ НЕЛИНЕЙНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АМПЛИТУДНОГО ПРОФИЛЯ СВЕТОВОГО ПУЧКА В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ ФАБРИ-ПЕРО

А. С. Перин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Создание оптически управляемых элементов на сегодняшний день является актуальным. Особо привлекательной предстаёт возможность создания элементов трансформации световых пучков на основе фоторефрактивных кристаллов. Такие кристаллы позволяют наблюдать некоторые нелинейно-оптические эффекты при сверхнизких оптических мощностях. Данная работа посвящена исследованию эффекта трансформации амплитудных профилей световых пучков в интерферометре Фабри-Перо (ИФП) на основе ниобата лития (LiNbO_3), легированного ионами железа (Fe) и меди (Cu). Введение Fe и Cu в LiNbO_3 делает его фоточувствительным, а инерционность нелинейного отклика позволяет проследить за изменением структуры светового поля, обусловленной эффектами его самовоздействия, без применения сложных экспериментальных методов [1, 2].

В экспериментах излучение твердотельного лазера (YAG:Nd^{3+} , $\lambda = 532$ нм) проходило через пластину LiNbO_3 X среза толщиной 1,5 мм. Форма поперечного сечения пучка круговая (с диаметром ~ 1 мм). Световая мощность составляла при этом 5 мВт.

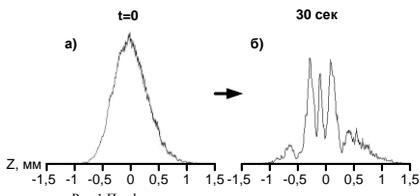


Рис. 1. Профили распределения интенсивности света

Распределение интенсивности в прошедшем ИФП световом пучке иллюстрируется профилями интенсивности в направлении оптической оси кристалла (рис. 1). В начальный момент (рис. 1а) пучок имеет Гауссов профиль, в процессе экспонирования образца распределение интенсивности в его поперечном сечении существенно изменяется (рис.1б). Изменения наиболее сильны в направлении вдоль оптической оси кристалла, что обусловлено фотовольтаическим механизмом транспорта носителей заряда в LiNbO_3 [2]. Таким образом, фоторефрактивные ИФП могут использоваться в качестве элементов управления структурой когерентных световых полей.

1. N. Davidson, A. A. Friesem, E. Hasman. Diffractive elements for annular laser beam transformation // Appl. Phys. Lett., 1992, Vol. 61(4), pp. 381-383.

2. Петров М. П., Степанов С. И., Хоменко А. В. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. С.-Пб.: Наука, 1992.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. М. Шандаров.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УДВОЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЧИСЛА ПРОДОЛЬНЫХ МОД

М. О. Политко

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

В современных исследованиях волоконные лазеры находят широкое применение. В основном волоконные лазеры генерируют излучение в инфракрасном диапазоне. С помощью эффекта удвоения частоты возможно получать излучение на частотах видимого спектра. Эффект удвоения чаще всего рассчитывается для одночастотного источника [1], тогда как спектр волоконного лазера имеет конечную ширину. Существуют расчеты удвоения частоты многомодового сигнала, но они посвящены первому типу синхронизма, в котором две волны основной частоты имеют одинаковую поляризацию, а волна с удвоенной частотой получается с перпендикулярной поляризацией. При этом эффективность удвоения широкого спектра частот лазера (в котором происходит также суммирование мод с различными частотами) оказывается в два раза больше, чем удвоение частоты одночастотного. Представляется интересным исследование эффективности удвоения частоты многомодового сигнала в кристалле КТР, который обладает вторым типом синхронизма, где обе волны основной гармоники имеют взаимно перпендикулярные поляризации. Мощные иттербиевые лазеры работают вблизи 1 микронметра – в этот диапазон попадает синхронизм такого кристалла.

В работе исследуется эффективность удвоения частоты поляризованного иттербиевого волоконного лазера, работающего на длине волны 1064 нм в кристалле КТР, обладающем вторым типом синхронизма.

1. Дмитриев В. Г., Тарасов Л. В. Прикладная нелинейная оптика. М.: Физматлит, 2004. 512 с.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. И. Каблуков.

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ СЛОЖНОЦВЕТНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ПЛЕНОК

А. В. Полошкевич, А. С. Александровский, Т. Н. Патрушева
Сибирский федеральный университет
Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН, г. Красноярск

В настоящее время возникает специальный интерес к материалам, которые широко выпускают в желто-красном спектральном диапазоне в комбинации с синим излучением, чтобы произвести белый свет высокого качества, стабильности и интенсивности для светоэмиссионных диодов (LED). Однако, помимо эффективности и общей выходной мощности, качество цвета (теплое восприятие накаливания) остается серьезной проблемой. Теплое восприятие цвета может быть получено, если ввести дополнительные люминофоры, которые излучают на более длинных волнах, таких как оранжевый или красный.

Самым известным люминофором для сине-желтой системы является легированный **церием** иттрий-алюминиевый гранат ($YAG:Ce^{3+}$). Трехвалентные допированные редкоземельные оксиды иттрия-европия ($YEuO$) являются многообещающими люминофорами для изготовления плоских экранов (FED's). Недавно было предложено использовать Bi^{2+} для легирования материалов, как новый подход к WLED люминофорам. Однако, из-за трудностей в стабилизации двухвалентных ионов висмута, знания о материале, легированном Bi^{2+} , в настоящее время ограничиваются только тремя типами материалов, а именно братами стронция, щелочноземельными сульфитами и щелочноземельными борофосфатами.

Метод синтеза материала определяет в большей мере размер зерна получаемого материала. Применение растворных методов синтеза сложных оксидов снимает ряд ограничений, связанных со стабилизацией ионов Bi . В настоящей работе сложноокисный люминофор $YEuBiO$ был получен экстракционно-пиролитическим методом. Приготовленные растворы экстрактов Y , Eu , Bi были смешаны в точных стехиометрических соотношениях, благодаря определенным концентрациям растворов экстрактов. Экстракционно – пиролитическим методом были получены тонкие пленки $Y_{0,84}Eu_{0,16}O_{1,5}$ и $Y_{0,83}Eu_{0,16}Bi_{0,1}O_{1,5}$.

Пленки $Y-Eu-O$ показали характерный красный спектр флуоресценции с главным пиком, сосредоточенным на длине волны 611 нм. Ионы Bi^{3+} включенные в люминофоры $Y_2O_3: Eu$, выступают в качестве сенсibilизатора для Eu^{3+} . Люминесцентные пленки $Y_{0,83}Eu_{0,16}Bi_{0,1}O_{1,5}$ излучали в смешанном красно-синем цвете и отличались наноразмерной структурой с размером зерна порядка 20 нм.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. Т. Н. Патрушева.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЛИНЗЫ В ЛАЗЕРНЫХ СРЕДАХ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ Yb^{3+} , ПРИ ДИОДНОЙ НАКАЧКЕ

К. В. Поляков, А. В. Лаптев
Институт лазерной физики СО РАН
Новосибирский государственный университет

Термооптический эффект является одним из основных ограничивающих факторов при создании мощных твердотельных лазерных систем, поэтому его изучение и учет является несомненно актуальной задачей. Работа посвящена исследованию термооптического эффекта, возникающего в Yb:YVO_4 лазерном кристалле, а также в $\text{Yb:Y}_2\text{O}_3$, $\text{Yb:Sc}_2\text{O}_3$ лазерных керамиках.

Была создана экспериментальная установка для измерения зависимости оптической силы тепловых линз в твердотельных лазерных средах от поглощенной мощности накачки. Экспериментально определена зависимость оптической силы тепловой линзы от поглощенной мощности накачки в кристалле Yb:YVO_4 . Эта зависимость составила 2,69 дптр/Вт для поляризации, параллельной оптической оси кристалла *c*, 2,24 дптр/Вт для поляризации, перпендикулярной оси *c*. Аналогичная зависимость для лазерной керамики $\text{Yb:Y}_2\text{O}_3$ составила 1,42 дптр/Вт, для $\text{Yb:Sc}_2\text{O}_3$ – 3,3 дптр/Вт.

Проведен теоретический расчет термооптических коэффициентов для кристалла Yb:YVO_4 . Установлено, что наибольший вклад в термооптический эффект вносит эффект линейного расширения кристалла. На основе теоретических расчетов термооптических коэффициентов кристалла Yb:YVO_4 и экспериментальных данных была определена относительная часть поглощенной мощности накачки, перешедшей в тепло. Эта часть составила порядка 6%, что совпадает с характерным значением квантового дефекта для иона Yb^{3+} в различных лазерных средах (< 10%).

Результаты данной работы были использованы при разработке твердотельной фемтосекундной лазерной системы с диодной накачкой.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. В. Петров.

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ФЕМТОСЕКУНДНЫЙ ЛАЗЕР НА КРИСТАЛЛЕ ХРОМ-ФОРСТЕРИТА

А. М. Родионцев

Институт лазерной физики СО РАН
Новосибирский государственный университет

Одним из перспективных направлений квантовой электроники является изучение проблем генерации ультракоротких импульсов (УКИ). Особенности спектра УКИ представляет большой интерес для метрологии, спектроскопии, телекоммуникаций и других сфер деятельности. Применение фемтосекундных лазеров в метрологии позволяет существенно повысить точность определения различных физических величин.

Спектр излучения хром-форстеритового фемтосекундного лазера лежит в области 1250 нм и представляет интерес для спектроскопии ближнего ИК диапазона, а так же для волоконных линий связи.

Использование вместо призм многослойных диэлектрических зеркал (чирпованные ГТТ-зеркала) с отрицательным показателем дисперсии групповых скоростей для компенсации положительной дисперсии резонатора позволяет снизить энергетические потери в лазере, уменьшить его габариты, а так же повысить стабильность генерации УКИ [1].

Высоконелинейные оптические волокна позволяют уширить спектр лазерного излучения и увеличивают спектральный диапазон измерений оптических частот до 1–2 мкм, а увеличение ширины спектра до октавы и более позволяет стабилизировать абсолютную частоту лазера методом $f-2f$ интерферометрии[2].

В результате работы по созданию фемтосекундного лазера на кристалле хром-форстерита были получены следующие характеристики: центральная длина волны излучения 1250 нм, длительность импульса около 50 фс, выходная мощность в режиме синхронизации мод 480 мВт при накачке 7,5 Вт на длине волны 1064 нм. Использование высококонелинейного волокна с нулевым наклоном дисперсии длиной 3 метра позволило уширить спектр до диапазона 1150–1650 нм. В дальнейшем на основе этого лазера будет создан прецизионный синтезатор оптических частот, работающий в ближней ИК области.

1. A. Robertson, H. Fuchs, U. Ernst, R. Wallenstein, V. Scheuer, T. Tschudi, Prismless femtosecond Cr:forsterite laser, J. Opt. Soc. Am. B 17, 668 (2000)

2. T. Udem et al., Absolute optical frequency measurement of the cesium D-1 line with a mode-locked laser, Phys. Rev. Lett. 82 (18), 3568 (1999)

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. В. Чепуров.

ВОЛОКОННО-ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ОТРАЖАТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР С «НЕОБРАЩЕННОЙ» АППАРАТНОЙ ФУНКЦИЕЙ

В. А. Симонов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Интерферометры широко применяются в оптике, например, в исследовании спектров веществ, измерении малых перемещений, фильтрации излучения, селекции мод в лазерах, сенсорных устройствах. Наиболее распространенным является интерферометр Фабри-Перо (ИФП). Этот прибор обладает высокой разрешающей силой, зависящей от оптических характеристик зеркал, и простотой конструкции.

Обычно в исследованиях используют аппаратную функцию ИФП в пропускании. Аппаратная функция ИФП в отражении используется гораздо реже, что связано с «обращенностью» интерференционной картины. Но зачастую возникает интерес использовать «необращенную» аппаратную функцию ИФП в отражении, например для селекции мод и линий генерации внутри лазера. Целью данной работы является исследование нового типа отражательных интерферометров с «необращенной» аппаратной функцией и применения его в волоконной оптике – волоконно-интегрированного отражательного интерферометра (ВИОИ).

В качестве разработки методов практического использования, рассматривается вариант применения ВИОИ для селекции мод и перестройки волоконного лазера. По сравнению с традиционными методами селекции при помощи эталонов ИФП или волоконных брэгговских решеток ОИ имеет ряд преимуществ: возможность создания перестраиваемого волоконного лазера с лазера с линейным резонатором, и позволяет достичь высокой частоты перестройки (1–10 кГц).

В качестве результатов приводятся аппаратная функция волоконно-интегрированного отражательного интерферометра с резкостью полос 2 и данные экспериментов по селекции и перестройке длины волны излучения кольцевого волоконного лазера (достигнут диапазон перестройки 30 нм).

1. В. С. Терентьев, Многолучевые интерферометры в отраженном свете с «необращенной» аппаратной функцией, Автометрия, 2009, т. 45, № 6, с. 89-98.

2. Ю. В. Троицкий, Многолучевые интерферометры отраженного света, Новосибирск, Наука, 1985.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. С. Терентьев.

ПОЛУЧЕНИЕ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ МИКРОСТРУКТУР НА ТОРЦЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

А. Д. Тарасов, А. М. Полковников
Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Реализован метод получения концевых микроструктур, увеличивающих числовую апертуру оптоволокон. Метод основан на фотополимеризации мономера, нанесенного на торец оптического волокна, вследствие облучения лазерным излучением (He-Ne), заведенным в оптоволоконно с другого конца. Полученные образцы увеличивают числовую апертуру оптоволокон типа 125 / 9 до трех раз.

В настоящее время оптоволокон широко используется для доставки или сбора света из таких труднодоступных зон, как внутренние органы человека или животных, детали машин. Увеличение числовой апертуры волокна, позволяет в несколько раз увеличить эффективность таких действий. Достичь этого можно нанесением микроструктур на торец оптоволокон.

Методика эксперимента состояла из подготовки оптического волокна (скол оптоволокон с обеих сторон под 90 градусов), нанесения капли фотополимера на один конец волокна и заведения излучения лазера с другого конца. В состав фотополимера входили мономерный компонент N-акрилоильного типа, донор-инициатор и соинициатор гетероциклический тиол, переносчик радикалов дисульфид бензотиазола и краситель-сенсibilизатор метиленовый синий, чувствительный к длине волны красного излучения. После экспозиции неполимеризовавшееся вещество удалялось ацетоном, а на торце оптического волокна оставался гауссообразный пик. В зависимости от времени облучения получались структуры с разными параметрами (высота и радиус кривизны конца).

Параметры микроструктур измерялись по фотографиям, сделанным с увеличением 40 х. После получения распределения интенсивности излучения, выходящего из оптоволокон без торцевой микроструктуры и с микроструктурой, делали выводы об изменении числовой апертуры $NA = \sin \theta$.

Данный способ увеличения числовой апертуры оптоволокон отличается простотой реализации и низкой стоимостью. Установлено, что формирование полимерной микроструктуры на торце оптического волокна увеличивает числовую апертуру в ~ 3 раза.

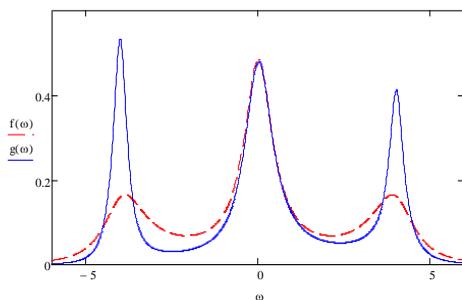
Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук А. И. Плеханов.

О СПЕКТРЕ РЕЗОНАНСНОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ДВУХУРОВНЕВОГО АТОМА В ЦЕПИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

В. А. Томилин

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Рассматривается задача о нахождении спектра излучения двухуровневого атома под действием монохроматического резонансного поля при наличии обратной связи (каждый детектированный фотон изменяет фазу поля на π). Задача решается в резонансном приближении. Вместо обычной матрицы плотности вводится набор из двух статистических операторов, отвечающих четному и нечетному числу испусканий. Эти операторы определяются из системы двух линейных дифференциальных уравнений. Можно найти стационарные решения этой системы, которые и будут интересовать нас в дальнейшем. Атомные операторы перехода с уровня на уровень также заменяются аналогичными парами операторов. Для вычисления спектра необходимо найти их явный вид в гейзенберговском представлении. Они также определяются из системы двух линейных дифференциальных уравнений, но их можно



решать с двумя типами начальных условий, отвечающих возбужденному либо невозбужденному состоянию атома в начальный момент времени. Оба этих случая дают вклад в спектральную функцию.

Был построен спектр излучения и проведено сравнение со спектром, получающимся без обратной связи (триплетом Маллоу – см. пунктирную линию на рисунке). Спектр состоит из трех ярко выраженных пиков (сплошная линия на рисунке). В случае нулевой отстройки от частоты возбуждающего излучения боковые пики спектра становятся симметричными.

1. D. V. Horoshko and S. Ya. Kilin. Resonance fluorescence excited by macroscopic superposition in a feedback loop, ЖЭТФ, vol. 90, №5 (2005).

2. L. V. Il'ichov. On the emission statistics for a dressed atom in the secular approximation (unpublished).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Л. В. Ильичев.

СПЕКТРОСКОПИЯ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА ПЕРЕХОДЕ 1S_0 - 3P_1 ОХЛАЖДЕННЫХ АТОМОВ МАГНИЯ

Р. Э. Тюменев

Институт лазерной физики СО РАН
Новосибирский государственный университет

Измерения физических величин с высокой точностью играют очень важную роль в современной науке и технике. Для таких измерений необходим точный эталон. Современный стандарт частоты является наиболее точным из всех эталонов физических величин, поэтому создание оптического стандарта частоты, более точного и стабильного чем существующий микроволновый, является одной из важных задач современной науки.

Одним из кандидатов на создание оптического стандарта частоты на основе нейтральных атомов является магний[1,2]. Для создания оптического стандарта частоты необходима лазерная система с очень узкой шириной линии генерации и стабильной частотой. Целью данной работы было улучшение характеристик такой лазерной установки и получение узких оптических резонансов на 1S_0 - 3P_1 переходе охлажденных атомов магния.

В эксперименте использовались атомы магния, охлажденные в магнито-оптической ловушке (MOT) до температуры в несколько мК. Атомы охлаждались с помощью лазерного излучения с длиной волны 285 нм. В эксперименте по спектроскопии сверхвысокого разрешения на переходе 1S_0 - 3P_1 атомов магния использовалось лазерное излучение с длиной волны 457 нм, полученное путем удвоения частоты излучения титан-сапфирового лазера в нелинейном кристалле.

В результате проделанной работы была усовершенствована лазерная установка с длиной волны 457 нм. Был проведен эксперимент по спектроскопии сверхвысокого разрешения и зарегистрированы узкие оптические резонансы в разнесенных во времени полях на переходе 1S_0 - 3P_1 охлажденных атомов магния.

Работа выполнена при поддержке Правительства Новосибирской области.

1. J. Keupp W. Ertmer, A high-resolution Ramsey-Bord'e spectrometer for optical clocks based on cold Mg atoms, Eur. Phys. J.D 36, 289 (2005).

2. A. N. Goncharov, A. E. Bonert, A. M. Shilov, R. E. Tumenev and S. N. Bagayev, ICONO/LAT 2010, August 23-26 2010, Kazan, Russia, Technical Digest, IWB3

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. Н. Гончаров.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КАСКАДОВ УСИЛЕНИЯ МУЛЬТИТЕРАВАТТНОЙ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ МАЛОПЕРИОДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ

С. А. Фролов

Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск

Генерация сверхкоротких импульсов света ультрарелятивистских интенсивностей имеет важное значение для развития новых направлений физики сверхсильных полей, таких как релятивистская оптика, ускорение заряженных частиц, аттосекундная физика и т.п.

В ИЛФ СО РАН создается фемтосекундная малопериодная мультитераваттная система на основе сверхширокополосного параметрического усиления при пикосекундной накачке. При разработке такой системы выбор и оптимизация ее параметров становятся определяющими. Использование пикосекундной накачки позволяет реализовать сверхширокополосное усиление, высокий контраст и высокую частоту следования усиливаемых импульсов.

В данной работе разработан код, моделирующий параметрические процессы усиления. Модель, реализованная в коде, позволяет учитывать пространственно-временной профиль импульсов, участвующих в процессе, влияние волновой расстройки, насыщение усиления, влияние дифракции и температурных эффектов.

С использованием данного кода была разработана схема и оптимизированы параметры лазерной системы на основе пятикаскадного параметрического усилителя малопериодных фемтосекундных чирпованных импульсов $\text{Ti}:\text{Al}_2\text{O}_3$ лазера при накачке излучением четырехканальной пикосекундной лазерной системы с длиной волны 532 нм, длительностью импульса 90 пс и выходной энергией в каждом канале 1 Дж. В системе использованы кристаллы ВВО (BaV_2O_4) в первых двух каскадах и кристаллы ЛВО (LiB_3O_5) в последующих. Расчет показал преимущество последних перед кристаллами DKDP (KD_2PO_4). Выбор оптимальных временных параметров усиливаемого импульса позволил получить высокий коэффициент усиления при сохранении широкого спектра усиленного импульса. Показано, что при данных параметрах накачки и начальной длительности усиливаемого импульса 5–10 фс, выходная мощность может достигать 100–150 ТВт. Согласно расчетам, при увеличении полной энергии импульсов накачки до 25 Дж может быть достигнута мощность петаваттного уровня при использовании кристаллов ЛВО с апертурой до 100–150 мм.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. И. Трунов.

ДАТЧИК ВЛАЖНОСТИ НА ОСНОВЕ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

В. П. Чубаков

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

В связи с возможностью создания новых функциональных сред с заданными свойствами [1], в течение последних десятилетий проявляется повышенный интерес к исследованию фотонных кристаллов (ФК). Обычно ФК описываются, как структуры, обладающие периодическим изменением показателя преломления на масштабах порядка длины волны видимого и ближнего инфракрасного диапазона. Указанная периодичность приводит к формированию стоп-зоны – спектральной области, распространение света в которой, подавлено в некоторых выделенных направлениях ФК. К настоящему времени создано большое количество ФК и разработаны различные методы их получения.

В данной работе в качестве трехмерных ФК использовались пленки искусственных опалов (размером $\sim 1 \text{ см} \times 2,5 \text{ см} \times 2 \text{ мкм}$), сформированные на стеклянных подложках [2]. Полученные пленки формировались из монодисперсных сферических частиц аморфного кремнезёма диаметром $\sim 250 \text{ нм}$, уложенных в гранецентрированную кубическую решетку. Вследствие Брэгговской дифракции света на периодических плоскостях кристаллической решетки пленки обладали стоп-зоной в видимой области спектра [3].

Впервые было экспериментально обнаружено, что при модификации полученных пленок опала солями NaCl, образцы становились чувствительными к относительной влажности окружающей среды. Измерена и теоретически обоснована зависимость оптических свойств модифицированных пленок от влажности. Выявленный механизм показывает, что вместо пленок опала могут быть использованы и другие ФК. Обнаруженная зависимость открывает перспективы для создания энергонезависимых, автокалиброванных датчиков влажности.

1. K. Sakoda Optical Properties of Photonic Crystals, Springer-Verlag Heidelberg, 2005.

2. Д. В. Калинин, В. В. Сердобинцева, В. Ф. Шабанов. Послойный ступенчатый механизм роста фотонно-кристаллических опаловых пленок при выращивании их методом подвижного мениска, ДАН, 420, 179. 2008.

3. А. И. Плеханов, Д. В. Калинин, В. В. Сердобинцева Нанокристаллизация монокристаллических пленок опала и пленочных опаловых гетероструктур. Российские нанотехнологии, №1, 2. 216. 2006.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук А. И. Плеханов.

КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ НА ОПТИЧЕСКИХ ФОНАХ КАК ПРИМЕР ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СРЕДАХ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

М. И. Шалаев, Н. С. Агеенко
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

В последние годы особый интерес вызывают работы по исследованию искусственно созданных материалов с отрицательным показателем преломления (метаматериалов). Основной особенностью этих материалов является антипараллельная направленность групповой и фазовой скоростей электромагнитных волн, распространяющихся в них. Интерес такого рода средам вызван как возможностью решения ряда практических задач, связанных с преодолением дифракционного предела разрешающей способности оптических устройств и созданием объектов «невидимок» так и возможностью наблюдения ряда чрезвычайно интересных особенностей, таких как отрицательная рефракция, обратный эффект Доплера и Вавилова-Черенкова, нелинейного взаимодействия волн [1, 2]. Однако к настоящему времени не создано объемных образцов метаматериалов, размеры которых позволяли бы экспериментально проверить положения теории, и практически воспользоваться их уникальными свойствами.

В связи с этим возникает вопрос о рассмотрении волн не электромагнитной природы, обладающих свойствами волн с отрицательной дисперсией, и в частности противоположно направленными фазовой и групповой скоростями. Здесь уместно отметить работы Мандельштама, в которых было показано, что отрицательное преломление является общим свойством волн любой природы с отрицательной групповой скоростью [3]. Им же был предложен пример такого типа волн – оптические фононы в кристаллах.

В данном докладе рассматривается процесс вынужденного комбинационного рассеяния света на оптических фонах, обладающих антипараллельным направлением групповой и фазовой скоростей, как пример параметрического взаимодействия волн в средах с отрицательным показателем преломления. Рассмотрены случаи встречного и попутного направлений стоксовой волны относительно волны накачки.

-
1. В. Г. Веселаго *УФН*, **173**, 790. 2003.
 2. А. К. Попов, V. V. Slabko, V. M. Shalaev. *LaserPhys. Lett.*, **3**, 293. 2006.
 3. Л. И. Мандельштам *ЖЭТФ*, **15**, 475. 1945.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. В. Слабко.

БЕЗЫНВЕРСНОЕ УСИЛЕНИЕ СВЕТА СЕЛЕКТИВНО ПО СОСТОЯНИЯМ ОРИЕНТИРОВАННЫМИ МОЛЕКУЛАМИ

А. В. Шамшурин

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Для усиления излучения обычно предполагается необходимость создания инверсии заселенностей уровней резонансного перехода. Однако инверсия заселенности является, вообще говоря, лишь частным случаем, в котором мощность испускания преобладает над поглощением и, следовательно, происходит усиление света. Возможны различные ситуации, связанные, либо с разницей числа вырожденных по энергии состояний, либо с распределением по ним поглощающих и излучающих частиц, либо с различием вероятностей поглощения и излучения фотонов, когда для усиления не требуется инверсии заселенностей [1–2].

В работе [3] была рассмотрена возможность безынерсного усиления света в системе селективно по состояниям ориентированных во внешнем поле дихроичных молекул. При этом предполагалось, что время жизни возбужденного состояния много больше времени установления ориентационного равновесия. Очевидно, что соотношение между временем жизни возбужденного состояния и временем установления ориентационного равновесия может меняться в широких пределах в зависимости от вязкости и температуры среды, ее агрегатного состояния (жидкость, газ), в которые помещены рассматриваемые молекулы, а так же от параметров самих молекул.

В данной работе на основе связанной системы уравнений Больцмана для основного и возбужденного состояний, имеющих разную энергию взаимодействия с ориентирующим полем рассматривается возможность безынерсного усиления света и численно анализируется влияние соотношения между временем жизни возбужденного состояния и временем установления ориентационного равновесия на коэффициент усиления. Результаты численного эксперимента показывают, что в ряде случаев соотношения $\tau_0/\tau^{\text{фф}}$ может оказаться решающим фактором, приводящим к изменению знака коэффициента усиления α .

1. М. Л. Сосинский, Е. Н. Морозов // Оптика и спектроскопия. 1965. Т. 18. с. 510–515.

2. С. Г. Раутиан, Г. И. Смирнов, А. М. Шалагин // Нелинейные резонансы в спектрах атомов и молекул. Новосибирск, Наука, 1979.

3. А. К. Попов, V. V. Slabko // Optics Letters. 2005. Vol. 30, Issue 13, pp. 1719–1721.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. В. Слабко.

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ДИПОЛЬНОЙ БЛОКАДЫ

Е. А. Якшина

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

В ансамбле сильно взаимодействующих атомов может наблюдаться эффект дипольной блокады, впервые рассмотренный в работе [1]. Если один из атомов возбудить в ридберговское состояние узкополосным лазерным излучением, то возбуждение остальных атомов в то же состояние будет подавлено. Это связано с тем, что диполь-дипольное взаимодействие сдвигает уровни энергии коллективных состояний в ансамбле атомов и выводит их из резонанса с возбуждающим излучением.

Дипольная блокада представляет интерес для фундаментальной физики и может быть использована в ряде приложений, например для получения перепутанных состояний атомов, реализации квантовых логических операций или загрузки одиночных атомов в оптическую решетку.

Для исследования условий, в которых может наблюдаться дипольная блокада, мы провели численное моделирование вероятности возбуждения взаимодействующих атомов. Для этого была построена теоретическая модель, основанная на решении уравнения Шрёдингера для амплитуд вероятности с учетом всех бинарных взаимодействий в ансамбле, состоящем из $N = 2-7$ атомов. Определены характерные размеры области лазерного возбуждения для наблюдения дипольной блокады при возбуждении ридберговских $3P$ атомов рубидия. Мы также показали, что с увеличением главного квантового числа до $n \sim 80$ требования к локализации атомов существенно снижаются из-за увеличения средней энергии диполь-дипольного взаимодействия.

Мы планируем наблюдать дипольную блокаду на микроволновых переходах между ридберговскими состояниями холодных атомов рубидия в магнито-оптической ловушке. Для решения этой задачи была оптимизирована система лазерного возбуждения ридберговских атомов в малом объеме, увеличена эффективность лазерного возбуждения. Разработаны методы визуализации области лазерного возбуждения. Определены предельные размеры области возбуждения, которые могут быть достигнуты при жесткой фокусировке лазерного излучения в геометрии скрещенных пучков. Проведены предварительные эксперименты по микроволновой спектроскопии ридберговских состояний с $n \sim 50-60$.

1. M. D. Lukin et al., Phys.Rev.Lett. 87 037901-1 (2001).

РАДИОФИЗИКА

ПРЕЦИЗИОННЫЙ ДВУПОЛЯРНЫЙ ИСТОЧНИК ТОКА ДЛЯ ПИТАНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СОЛЕНОИДОВ ВЧ-300-8P

Ю. С. Актёршев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

Темой этой работы является источник питания ВЧ 300-8 P, предназначенный для питания сверхпроводящих электромагнитов в электрофизических и промышленных установках, требующих высокой стабильности и низкого уровня пульсаций выходного постоянного тока. Источник разработан и используется в ИЯФ для питания фокусирующих магнитов коллайдера ВЭПП-2000. Главными требованиями при создании источника были высокая стабильность выходного тока и возможность управления током, как при подъеме, так и при его спуске.

Нестабильность тока источника за 8 часов непрерывной работы не превышает 0,02% от его номинального значения для повышения плотности и энергии частиц и осуществления метода круглого пучка в ускорителе ВЭПП–2000.

Рабочий ток соленоида составляет 200 А, а индуктивность равна 10 Гн, соответственно в нём сосредотачивается энергия до 20 кДж. Такая величина энергии опасна при работе, поэтому источник обладает возможностью регулировки скорости ввода-вывода тока. Максимальная скорость ввода вывода тока равна 0,6 А/с.

С целью прогнозирования реакции источника на возможные возмущения входного напряжения создана виртуальная модель источника. Так же ведутся экспериментальные испытания источника для подробного изучения его технических параметров и особенностей.

Научный руководитель – канд. техн. наук В. Ф. Веремеенко.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРОВОВЫХ РАЗРЯДОВ НА СЕВЕРЕ АЗИИ ЗА 2010 ГОД

А. П. Андреева

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск
Институт космофизических исследований и астрономии СО РАН

Мировая сеть локализации молний (World Wide Lightning Location Network) включает 40 приемных пунктов [1]. Пункт этой сети в г. Якутске является единственным пунктом системы WWLLN в Северо-Азиатском регионе. Используется аппаратура, созданная в ИКФИА. Построено распределение и проанализирована динамика гроз в Северной Азии ($60 \div 170$ град. в.д. и $40 \div 80$ град. с.ш.). При построении карты плотности грозовых разрядов учитывалось количество разрядов, зарегистрированных на квадратном километре за период с 1 июня по 31 августа 2010 года.

Анализ карты показал наличие максимумов с грозовой активностью, в 10-100 раз выше остальной площади. Первый очаг мощностью в максимуме около 512×10^{-3} разр/км²×сезон тянется по меридиану от южных отрогов Большого и Малого Хингана до севера Станового хребта, по параллели с запада от Большого Хингана до южных отрогов Малого Хингана и Бурецкого хребта на востоке. Второй, в 2 раза менее интенсивный, очаг приходится на Западно-Сибирскую равнину ($45 \div 65$ град. с.ш. и $60 \div 87$ град. в.д.). На востоке и на северо-востоке Азии регистрировалась существенно (сотни раз) меньшая грозовая активность, особенно в морях. Динамика относительного числа разрядов двух основных очагов имела максимум интенсивности в июне-июле и резкий спад к августу. Наблюдается последовательное уменьшение грозовых разрядов от низких широт к высоким и с запада на восток в 10 раз в границах рассматриваемого региона, исключая 2 области повышенной грозовой активности. С увеличением высоты местности от 0 м до 200 м над уровнем моря наблюдается подъем, далее наблюдается плавный спад грозовой активности с дальнейшим повышением местности до 3 км. На высотах выше 3 км наблюдается минимальная грозовая активность.

Работа поддержана грантами РФФИ 09-05-98540-р_восток а и программами Президиума РАН 16, ФАНИ г.к. 02.740.11.0248 и РНП 2.1.1/2555.

1. R. L. Dowden, J. B. Brundell, C. J Rogder, VLF lighting location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites, J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 64, №7. P. 817-879 (2002).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук. В. И. Козлов.

ПЛАНАРНЫЕ ФОКУСАТОРЫ СУБММ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СУБВОЛНОВЫХ СТРУКТУР

М. А. Астафьев

Новосибирский государственный университет

В настоящее время развивается наука квазиоптических элементов на основе планарных металлизированных субволновых структур. На их основе в лаборатории субмиллиметровых исследований АТИЦ ВТиНМ НГУ успешно производятся полосовые фильтры, поглотители, преобразователи фазы и поляризации, применяемые для селекции пучков субмм-излучения. Для ряда практических задач представляется также перспективным разработка фокусирующих элементов, сочетающих в себе функции линзы и фильтра и позволяющих обеспечить в общем случае фокусировку излучения в пространственную область сложной формы. В оптическом диапазоне указанная задача решается с помощью дифракционных оптических элементов (ДОЭ) – профилированных структур, использующих дифракцию высшего порядка [1], однако адаптация ДОЭ к субмм-диапазону оказывается проблематичной ввиду сложности и высокой себестоимости их изготовления.

В настоящей работе впервые рассмотрен новый подход к реализации фокусаторов на основе планарных (непрофилированных) субволновых структур (ПСС) отражательного типа, принципиально работающих в нулевом порядке дифракции и использующих идеологию искусственных импедансных поверхностей, известных в антенной технике [2]. В рассматриваемых фокусаторах ПСС представляет собой субволновую частотно-избирательную поверхность емкостного типа, созданную на поверхности пленки диэлектрика с обратной металлизацией. Топология микрорисунка ПСС меняется вдоль ее поверхности по определенному закону обеспечивающему необходимое для фокусировки распределение фазы коэффициента отражения.

В работе описана реализация фокусатора «в точку», оптимизированного на длину волны 0.9 мм. Фокусатор имеет диаметр лучевой апертуры 71 мм при значениях периода ячеек ПСС 290 мкм и их минимальном топологическом размере 60 мкм. Изготовленный фотолитографией фокусатор успешно протестирован на субмм ЛОВ-спектрометре. Ведется разработка нового фокусатора в сложную область.

1. Методы компьютерной оптики // Под ред. В. А. Сойфера: Учеб. для вузов. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 688 с.

2. С. А. Balanis (Ed.), *Modern antenna handbook*, NY: Wiley, 2008.

Научный руководитель – С. А. Кузнецов.

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРО-ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИПЕРИОДИЧЕСКИХ УСКОРЯЮЩИХ СТРУКТУР

М. С. Белкин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время стремительно развивается ускорительная техника, она широко используется в медицине и промышленности. С ростом спроса на ускорительную технику, растет потребность в специалистах.

В данной работе описывается устройство стенда для исследования электро-динамических характеристик бипериодических ускоряющих структур. Стенд несет методический характер. Он представляет собой набор алюминиевых пластин изготовленных токарным способом, из которых можно сконструировать макет цепочки связанных высокочастотных резонаторов, систему, которая пригодна как для ускорения протонов, так и для электронов до высоких энергий. Достоинствами данного стенда являются мобильность, настольные размеры, простота сборки, не чувствительность к тяжести, работа на умеренно высоких частотах. В данной работе, мы создаем макет ускоряющей структуры с боковыми резонаторами связи. Эта система обеспечивает эффективную передачу электромагнитной энергии частицам в диапазоне скоростей от $\beta = 0,3$ до $\beta = 1,0$ и как следствие работы на волне $\pi/2$ гарантирует высокую степень стабильности ускоряющей электромагнитной волны в условиях сильной загрузки пучком. Также структура позволяет точно управлять фазой и амплитудой возбуждающего сигнала. Сочетание высокого к. п. д. системы и стабильности поля позволяет работать с весьма высокими коэффициентами заполнения при разумных напряженностях ускоряющего поля и уровнях мощности, чего нельзя достичь с традиционными системами линейных ускорителей.

Были определены параметры системы. Подобраны эквивалентные параметры. Промерены невозмущенные частоты каждой половинки резонатора. Измерен спектр частот структуры. Измерена дисперсионная кривая. Исследовано влияние коэффициентов связи на частотные характеристики ускоряющей структуры.

Ведется работа по оценке добротностей системы, по исследованию полей в структуре, влияния расстройки резонаторов на систему. Исследуются и другие характеристики системы.

Научный руководитель – И. А. Запрягаев.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОРБИТЫ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В МИКРОТРОНЕ РЕКУПЕРАТОРЕ

Н. Д. Бухал

Новосибирский государственный университет

Лазеры на свободных электронах являются наиболее перспективными источниками когерентного излучения в диапазонах длин волн от 30 мкм до 1 мм (терагерцовая часть спектра) и в диапазоне менее 10 нм (рентгеновская часть спектра). Их отличительной особенностью является возможность плавной перестройки частоты в рабочей области, а также создание ультракоротких импульсов с высокой пиковой мощностью. Всё это обуславливает широкое практическое применение лазеров на свободных электронах в различных областях науки таких, как спектроскопия, физика твердого тела, химия и т.д.

В сибирском центре фотохимических исследований установлен мощный терагерцовый лазер на свободных электронах в диапазоне длин волн 120 – 235 мкм и с планируемым выходом в диапазон от 5 до 300 мкм. Проводятся эксперименты по лазерной абляции различных материалов, включая и биологические образцы.

Целью данной работы является модернизация системы измерения положения пучка с целью уменьшения времени обработки данных. Задача решается заменой контроллеров и переносом части процесса обработки данных, поступающих с электростатических пикапов, на периферийные управляющие контроллеры КАМАКа cm5307. Тем самым планируется достигнуть уменьшения количества информации, которая проходит по ограниченному по пропускной способности каналам передачи данных и разгрузить центральный компьютер от рутинных операций.

Непосредственно работа состоит из создания серверной части программного обеспечения для плат cm5307, которые находятся под управлением операционной системы Yellow Dog Linux и рабочей библиотеки.

Научный руководитель – Е. Н. Дементьев

РАЗРАБОТКА УЗЛОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ СТЕНДА МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Р. В. Вахрушев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в Институте ядерной физики СО РАН разрабатывается источник питания для стенда магнитных измерений. С помощью источника планируются испытания дипольных магнитов бустерного синхротрона для National Synchrotron Light Source II for BNL. Магнитная система бустера состоит из 28 магнитов типа BR-BF и 32 магнитов типа BR-BD. Для питания магнитов необходим ток пилообразной формы, время подъема и последующего спада – 0,26 сек, частота всего цикла – 1 Гц, максимальный пиковый ток – 860 А. Основными элементами источника питания являются: зарядный источник, конденсаторная батарея, силовой регулятор тока, выходные фильтры. Силовой регулятор делается с использованием IGBT-транзисторов, включенных по полномостовой схеме, которые управляются с помощью ШИМ-контроллера.

Данная работа посвящена разработке системы защиты источника питания. Система состоит из двух узлов: блок защиты конденсаторной батареи и модуль общих блокировок источника, включающий в себя защиту силового регулятора тока. Конденсаторная батарея состоит из модулей (полок в стойке) по 18 конденсаторов в каждом. Блок защиты конденсаторной батареи может быть расширен вплоть до 8 модулей по 18 каналов каждый, которые контролируют целостность защитных предохранителей конденсаторов. Состояния всех модулей суммируются, и выходной сигнал аварии батареи поступает в блок управления. Модуль общих блокировок обрабатывает сигналы аварии драйверов силовых ключей, перегревов, наличие охлаждения и т. д. и формирует общий сигнал аварии источника, который блокирует работу ШИМ-контроллера.

Внутренняя логика всех схем модулей базируется на ПЛИС ALTERA. Состояния всех каналов модулей системы защиты и контроля отображаются на передних панелях, есть возможность передачи на устройство внешнего чтения.

К настоящему моменту разработаны схемы и изготовлены все модули. Написано программное обеспечение ПЛИС ALTERA, проводится настройка модулей и сборка блоков.

Научный руководитель – К. М. Горчаков.

СУБНАНОСЕКУНДНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ТОКА ДЛЯ ИНЖЕКЦИИ В МИКРОТРОН-РЕКУПЕРАТОР. ФАЗОВЫЙ ДЕТЕКТОР

Д. Л. Военнов

Новосибирский государственный университет

Совершенствование существующего технического оборудования, а также разработка принципиально новых установок является одной из задач радиофизики. В частности, данная работа является составной частью модернизации, призванной улучшить технические характеристики лазера на свободных электронах. Поставлены задачи по увеличению среднего тока микротрона-рекуператора до 150 мА при длительности импульса электронного тока равным 0.5 нс.

Одной из проблем, возникшей в ходе реализации проекта, является необходимость управлять и стабилизировать фазу влёта пучка в микротрон. Для чего необходима схема, позволяющая детектировать фазы сигналов с частотой 180 МГц и 90 МГц. Известны способы детектирования фазы сигналов одинаковой частоты.

Для решения этой задачи необходимо сформулировать принципы работы схемы, удовлетворяющей вышеперечисленным условиям, а также разработать и реализовать её. Кроме того, требуется выявить особенности и недостатки детектора.

В работе рассматривается схема фазового детектора и её свойства, а именно: представлена схема детектора; приведены основные принципы работы; подробно рассмотрена работа детектора; описана взаимосвязь фазового детектора с другими элементами установки. Также выявлены и изучены особенности детектора – неопределённость в состоянии фазы 180 МГц при делении сигнала 360 МГц на 4.

В настоящее время имеется стенд, на котором представлен исправно работающий источника тока, включающий в себя фазовый детектор. Кроме того, ведутся работы по установке источника в 90 МГц резонатор, являющийся ВЧ-пушкой для инжектора ЛСЭ.

Научный руководитель – Е. И. Колобанов.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА КОМПЛЕКСЕ ВЭПП-4

Д. А. Зверев, Б. А. Гудков, Е. В. Быков
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В ряду наиболее важных проблем в физике ускорителей стоит задача стабилизации энергии и равновесной орбиты циркулирующих пучков частиц в течение эксперимента. Ускорительный комплекс ВЭПП-4 оснащен системами автоматизации, управления и диагностики, которые позволяют решить эту задачу.

Для стабильной и надежной работы этих систем необходимо поддерживать и регулировать температуру всех элементов ускорителей комплекса, отвечающих за инжекцию, траекторию, форму пучка, а также контролировать температуру источников питания и электроники.

Качество работы ускорителей в решающей степени определяется эффективностью работы системы охлаждения, поэтому для стабилизации температуры большинства систем на комплексе ВЭПП-4 используется охлаждение дистиллированной водой.

Одной из основных частей системы охлаждения ВЭПП-4 является холодильная установка, которая используется для передачи тепла из контура дистиллята в контур оборотной технической воды. Для поддержания холодильной установкой стабильной температуры дистиллята в системе охлаждения необходимо постоянно следить за многими параметрами холодильной машины: давлением и температурой в различных точках, расходом охлаждаемой и охлаждающей воды.

В задачу данной работы входит разработка и создание системы мониторинга параметров холодильной машины. Разработка системы мониторинга является первым и необходимым шагом при создании эффективной системы авторегулирования.

Данная работа включает обоснование требуемых точностей измерения, обзор и выбор датчиков, подбор и комплектацию имеющейся в ИЯФ электроники, а также разработку схем преобразования сигналов с датчиков для обеспечения измерений с помощью имеющейся аппаратуры.

Научный руководитель – канд. техн. наук С. В. Тарарышкин.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКТА СРСІ-НОСИТЕЛЕЙ РМС-МОДУЛЕЙ С ИНТЕГРИРОВАННЫМ CAN ИНТЕРФЕЙСОМ

Р. А. Кадыров

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

ИЯФ СО РАН разработал и изготовил систему управления линейного индукционного ускорителя (ЛИУ). Часть конечного оборудования системы собиралась в CompactPCI (CPCI) крейты, которые укомплектовались блоками и модулями, выполненными как в самом стандарте CompactPCI, так и в более компактном исполнении PCI Mezzanine Card (PMC). Если первые из них требуют прямого подключения к магистрали крейта, то последние сначала устанавливаются в CompactPCI носитель, который уже подключается к магистрали крейта. Хотя существуют промышленные аналоги таких носителей, была поставлена задача разработать более дешевый носитель, а также оснастить его CAN интерфейсом связи для объединения в сеть крейтов системы управления. Встроенный CAN интерфейс заменяет один PMC модуль CAN, которым пришлось бы укомплектовывать каждый крейт системы. Для системы управления ЛИУ требовалось изготовить 24 таких устройства.

Разработанный носитель представляет собой CompactPCI электронный модуль со встроенным CAN интерфейсом и может нести до 2 PMC модулей. Логика работы устройства реализует PCI мост PCI2050, образующий свой сегмент шины PCI на три устройства – два PMC модуля и интегрированный CAN интерфейс.

Последний включает в себя 2 CAN порта и гальванически изолирован от шины оптронной развязкой для защиты от скачков напряжения на линии шины. Часть контактов PMC разъемов выведены на CompactPCI разъемы вдоль задней стороны в соответствии со спецификацией. Они служат для того, чтобы подавать сигналы на входы устанавливаемых PMC модулей и снимать сигналы с их выходов.

В ходе работы над носителем была нарисована схема устройства, подобраны и закуплены необходимые компоненты, собран и отлажен прототип, а так же изготовлено две серийных партии носителей. Всего было изготовлено и отлажено 28 устройств. Система управления ЛИУ была полностью укомплектована разработанными носителями – собрано 8 крейтов по 3 носителя в каждом.

Научный руководитель – канд. техн. наук В. Р. Мамкин.

МЕТОДЫ ПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ СИГНАЛА С КВАДРАТУРНОЙ ФАЗОВОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ

М. А. Кисляков, А. В. Кислякова
Владимирский государственный университет

Фазовая манипуляция является одним из видов фазовой модуляции, при которой фаза несущего колебания меняется скачкообразно в зависимости от информационного сообщения. В свою очередь квадратурная фазовая манипуляция (QPSK) позволяет передавать пары битов информации на основе значений фазового угла на комплексной плоскости. Тем самым формируется созвездие с фазовыми углами, отстоящими друг от друга на 90 градусов, где каждая сигнальная точка отстоит от действительной и мнимой осей на 45 градусов. Однако при прохождении сигнала через тракты приемопередатчиков появляется частотная отстройка, которая делает невозможным демодуляцию сигнала без использования дополнительных методов.

Классифицируют грубые и точные методы частотной подстройки сигнала. Использование первой группы методов позволяет устранить большие частотные отклонения, однако не обеспечивает высокую точность. При неизвестной последовательности данных используют возведение сигнала в четвертую комплексную степень и применяют БПФ. В этом случае размер окна БПФ определяет конечную точность при вычислении отстройки. При известных данных сигнал умножают на заданную комплексно сопряженную последовательность и также применяют БПФ. Обычно известные последовательности имеют конечную длину, что является ограничением при выборе размера окна БПФ.

Вторая группа методов в основном базируется на пилот-каналах сигнала и позволяет точно настроить его частоту и фазу. При передаче пилот-канала по двум составляющим комплексного отсчета необходимо повернуть каждую сигнальную точку на фазовый угол, значение которого соответствует конечному положению точки в первой четверти на позиции 45 градусов фазовой плоскости. Однако при передаче пилот-канала лишь по одной составляющей комплексного отсчета образуется двойственная ситуация определения угла. В этом случае используется модуль неизвестной квадратуры, а точное значение фазового угла корректируется в зависимости от угла наклона касательной в точке известной составляющей. Таким образом, если знаки угла наклона касательной и частоты отстройки различны, то конечное значение фазового угла остается неизменным. Иначе конечное значение должно быть вычислено, как разность 180 градусов и найденного фазового угла.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент С. Г. Мосин.

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ВЧ ГЕНЕРАТОРА ПЛАЗМЕННОГО ЭМИТТЕРА

Г. Г. Китушин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В ИЯФ СО РАН разработаны инжекторы атомов водорода, предназначенные для диагностики плазмы в современных термоядерных установках [1]. Одной из основных частей ионного источника инжектора является плазменный эмиттер на основе высокочастотного разряда. Высокочастотный разряд зажигается в газоразрядной камере при подаче на антенну эмиттера ВЧ-напряжения с частотой 3...5 МГц и требуемой мощностью от единиц до десятка киловатт. Разрядная камера находится под высоким (порядка 55 кВ) потенциалом, поэтому высокочастотная мощность подается через масляный разделительный трансформатор. Антенна эмиттера вместе с разделительным трансформатором и контурными емкостями образует резонансную систему. Для максимальной передачи ВЧ мощности в горящую плазму необходимо, чтобы входной импеданс резонансной системы был близок к волновому сопротивлению линии подвода мощности на рабочей частоте. Мощный ВЧ сигнал создается полупроводниковым генератором, контролируемым блоком управления.

Блок управления генератора предназначен для измерения прошедшей в нагрузку ВЧ мощности в диапазоне до 10 кВт, коэффициента отражения в тракте передачи и разности фаз между током и напряжением, а так же для подстройки рабочей частоты в резонанс контура. Достижение резонанса определяется нулевой разностью фаз между током и напряжением. Измерение и управление осуществляются цифровым способом с помощью сигнального процессора TMS320F28027. Частота генератора формируется цифровым синтезатором AD5932 с минимальным шагом 3 Гц. Процессор и синтезатор работают на тактовой частоте 50 МГц. Ожидаемое время подстройки составляет не более 100 мкс.

1. А. А. Иванов и др., Плазменный эмиттер на основе высокочастотного разряда, УДК 333.9.004.14.

Научный руководитель – Е. И. Шубин.

МЕЖГОДОВЫЕ ВАРИАЦИИ АТМОСФЕРИКОВ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ В ЯКУТСКЕ С 2001 ПО 2010 ГГ. НА ФОНЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

А. А. Корсаков

Институт космофизических исследований и аэронауки
им. Ю. Г. Шафера СО РАН, г. Якутск

Работа [1] указывает на зависимость числа атмосфериков от активности Солнца. Исследования были сопряжены с рядом трудностей: проведение регистрации в течении продолжительного периода, связанного с периодичностью солнечной активности; применение регистрирующей аппаратуры с постоянными характеристиками на протяжении всего времени регистрации. Поэтому такие исследования не теряют актуальность в настоящее время. Атмосфики (радиоимпульсы грозовых разрядов) регистрировались на радиополигоне ИКФИА СО РАН, расположенном в окрестностях г. Якутска вдали от промышленных помех. Принятый рамочной антенной (восток-запад) сигнал сравнивался с выставленными порогами напряжений и при превышении которых поступал на счётчик. Используются данные регистрации количества атмосфериков в час с 2001 по 2010 гг., сигналы которых превышали пороговый уровень поля, принимаемого антенной 1,75 мВ/м, что даёт возможность регистрации импульсов на дальности до 10000 км. В суточном ходе атмосфериков выделяются 3 экстремума: 8-12 UT – грозовая активность Восточной Азии; 15-19 UT – Африканский мировой грозовой очаг; 3-7 UT – грозовой очаг в Тихом океане. Сопоставлены сезонные хода экстремумов плотности потока атмосфериков и усреднённые за месяц ежедневные относительные числа Вольфа. На ниспадающей ветви солнечной активности (2001 – 2008 гг.) идет нарастание количества атмосфериков, а при нарастании солнечной активности (2008 – 2010 гг.) – уменьшение плотности потока атмосфериков. Грозовая активность находится в противофазе с солнечной активностью, что соответствует результатам работы по радиошумам [1]. Минимум 3-7 UT с 2001 по 2010 гг. практически не меняется. Активность грозового очага Восточной Азии (8-12 UT) более подвержена вариациям. Наибольшая вариация (15-19 UT) наблюдается в Африканском грозовом очаге.

1. В. А. Муллаяров, Р. Р. Каримов, В. И. Козлов, Н. Н. Мурзаева Связь среднеширотного шумового фона ОНЧ-излучения с солнечной активностью // Геомагнетизм и аэронаука. 1997. Т.37. N 6. С. 132-136.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. И. Козлов.

СИСТЕМА АВТОПОДСТРОЙКИ ФИЛЬТРА ВЫСШИХ МОД УСКОРЯЮЩЕГО РЕЗОНАТОРА ВЭПП–2000

С. А. Кравец

Новосибирский государственный университет
Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

Для проведения исследования аннигиляции e^+e^- в области энергий от 1400 до 2000 МэВ в Новосибирском институте ядерной физики принято решение модернизировать коллайдер ВЭПП-2М. Проект нового коллайдера получил название ВЭПП-2000.

Главной задачей является накопление большого тока (до 200 мА) в пучке при относительно низкой энергии, т.к. пучок начинает взаимодействовать с высшими модами резонатора. Для подавления высших мод был разработан одномодовый резонатор. С помощью специальных вакуумных нагрузок осуществляется подавление высших мод, от чего порог возникновения неустойчивости пучка повышается. Таким образом, становится возможным повышение накопленного тока пучка до 200 мА.

Основной задачей в данной работе является модернизация системы перестройки резонатора. В первоначальной конструкции резонатора фильтр-пробка регулируется тремя стержнями, которые изменяют длину при изменении их температуры. Для того чтобы перестройка фильтра происходила быстро в обе стороны, нужно быстро нагревать и охлаждать стержни. Быстро охлаждать стержни можно с помощью системы охлаждения, но тогда будет затрачиваться большая мощность на нагрев. Поэтому, в существующей конструкции скорости перестройки фильтра вверх и вниз по частоте существенно отличаются.

Целью данной работы является устранение данного недостатка путем использования в механизме перестройки элементов Пельтье. Т.к. в элементах Пельтье одна и та же поверхность, контактирующая со стержнем тюнера, может выступать в роли нагревателя и холодильника. Таким образом, можно добиться почти одинаковой скорости перестройки. В работе используются модули ТЕС1-127060-40, которые имеют следующими основными характеристиками: максимальный рабочий ток до 6 А, максимальное рабочее напряжение до 15,4 В, максимальная холодопроизводительность до 54,9 Вт и габаритные размеры 40.0×40.0×4.0 мм. В работе приводятся описание фильтра-пробки и электрические схемы управления тюнерами на элементах Пельтье.

Научный руководитель – В. Н. Осипов.

РАЗРАБОТКА ФОТОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ АБСОЛЮТНОГО ЛАЗЕРНОГО БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ГРАВИМЕТРА

К. В. Манько

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Абсолютный лазерный баллистический гравиметр (ГАБЛ) предназначен для измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести (g). Наиболее точным и перспективным методом измерения является баллистический метод [1]. Результаты измерений широко используются в геофизике, геологии, метрологии и астрономии.

Основой метода является интерферометр Майкельсона, измерительное плечо которого представляет собой уголкового отражатель, закрепленный на свободно падающем теле [3]. Измерение пути, пройденного падающим телом, осуществляется лазерным интерферометром (мерой пути служит длина волны излучения лазера), а мерой интервалов времени являются сигналы прецизионного стандарта частоты. Информация о движении падающего тела регистрируется фотодетектором.

Интерференционный световой сигнал, поступающий в блок контроллера по оптоволоконному кабелю на фотодиод, преобразуется в электрический сигнал и подается на усилитель-компаратор, формирующий из него последовательность импульсов стандартной формы, которые затем поступают на вход скоростного счетного блока, реализованного в программируемой логической интегральной схеме [2].

Целью данной работы является исследование и разработка фотоприемного устройства гравиметра. Качество изготовления узла фотоприемник-усилитель в значительной степени определяет метрологические характеристики прибора, т. к. фазовые искажения сигнала непосредственно приводят к ошибкам в измерении интервалов пути и, следовательно, к погрешности определения g . В данной работе конструкция фотоприемного устройства основана на использовании p - i - n фотодиода и быстродействующих ОУ.

1. Юзефович А. П., Огородова Л. В. Гравиметрия // М.: «Недра», 1980.

2. Калиш Е. Н. Разработка и исследование измерительно-вычислительной системы баллистического лазерного гравиметра // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. М., 2003.

3. Стусь Ю. Ф. Разработка и исследование оптической системы лазерного баллистического гравиметра // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Новосибирск, 2002.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Е. Н. Калиш.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СО СЛОИСТЫМИ СРЕДАМИ

А. В. Никушин

Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики, г. Самара

В настоящем сообщении представлены результаты исследований численными методами отражений электромагнитных волн отраженной от неоднородных слоев изотропной и анизотропной плазмы, анизотропного феррита, нанесенного на металл, находящихся в постоянном магнитном поле.

В ходе численных расчётов было выявлено, что в области нижних частот имеет место сильное отражение волны от слоя плазмы с потерями. Значения коэффициентов отражения в случае Е-поляризации больше чем в случае Н-поляризации. Переход от полного к частичному отражению происходит в области плазменной частоты. В теории оптических свойств полупроводников и металлов эта область носит название плазменного края. Плазменный край очень резко выражен в случае бесстолкновительной плазмы и размывается при наличии потерь в слое. Максимумы и минимумы в спектре отражения соответствуют резонансам Фабри-Перро, возникающим при интерференции волн, отраженных от противоположных границ слоя. С ростом частоты интерференционные минимумы и максимумы затухают, что объясняется стремлением диэлектрической проницаемости слоя к единице и, следовательно, уменьшением отражений от границ слоя. С увеличением угла падения волны соответствующие частотные зависимости коэффициента отражения смещаются в частотной области.

К основным достоинствам работы следует отнести получение нелинейного дифференциального уравнения для локального коэффициента отражения излучения от усеченного неоднородного слоя. В рамках метода дифференциальной прогонки получено дифференциальное уравнение для коэффициента отражения электромагнитной волны от неоднородного слоя плазмы и феррита. Отметим, что полученное уравнение представляет собой комплексное уравнение Риккати и при его интегрировании можно использовать одно из численных частных решений. Данные частотной зависимости модулей коэффициентов отражения можно использовать в экспериментах по электромагнитной диагностике плазмы и ферритов в частности, при исследовании степени их неоднородности.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Д. Н. Панин.

ЦИФРОВОЙ БЛОК СИСТЕМЫ ПОДАВЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ БЕТАТРОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПУЧКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОН- ПОЗИТРОННОГО КОЛЛАЙДЕРА ВЭПП-4М

В. В. Орешонок

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

Коллайдер ВЭПП-4М предназначен для экспериментов по физике элементарных частиц на энергиях 1.5 – 5.5 ГэВ. Основной причиной ограничений рабочего тока пучка в ВЭПП-4М являются поперечные неустойчивости, вызванные электромагнитным взаимодействием пучка с окружающей его структурой или со встречными пучками. Для пооборотного подавления вертикальных колебаний создается система обратной связи [1], основная задача которой – измерять колебания бетатронной частоты каждого сгустка и индивидуально стабилизировать траекторию его движения.

Чтобы удовлетворить требованиям к гибкости системы, а также обеспечению возможностей диагностики и мониторинга, был разработан цифровой блок обратной связи на основе ПЛИС. Блок включает два конвейерных АЦП ADS5527 разрядностью 12 бит, используемых для оцифровки сигналов вертикального отклонения и интенсивности пучка, поступающих с датчиков положения. Две ПЛИС Cyclone III предназначены для подсчета величины корректирующего удара и формирования сигнала коррекции. Полученные сигналы коррекции с необходимыми задержками подаются на четыре 10-разрядных ЦАПы TI DAC5652, с выходов которых после усиления сигналы поступают на кикеры. Контроль над обратной связью, а также мониторинг колебаний пучков осуществляется посредством протокола Ethernet, для чего в составе блока предусмотрены трансиверы, а в ПЛИС реализован стек UDP/IP.

Результаты испытаний обратной связи показывают, что вертикальные неустойчивости пучков, вызванные инжекцией в ВЭПП-4М или тестовым ударом инфлектора, подавляются в пределах 100 оборотов при незначительных потерях тока [2]. Кроме того, с использованием обратной связи удалось более чем в 3 раза увеличить ток инжектируемых пучков.

1. E. N. Dement'ev et al. Commissioning Feedback Systems at VEPP-4M Electron-Positron Collider. Physics of Particles and Nuclei Letters, 2010, Vol. 7, No. 7, pp. 466–472.

2. V.P. Cherepanov, V.V. Oreshonok, V.V. Smaluk, D.P. Sukhanov. Transverse Bunch-by-Bunch Digital Feedback for the VEPP-4M Collider. Proceedings of RuPAC-2010, pp. 236-238.

Научный руководитель – Д. П. Суханов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МЕТОДА ИНТЕГРИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

А. В. Павленко

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Заметная часть электрофизического оборудования современных экспериментальных установок работает в импульсном режиме. При измерении импульсных магнитных полей с помощью индукционного метода, широко применяемого на ускорительных комплексах, сигналы датчиков пропорциональны производной поля. В этом случае используются интегрирующие измерители.

В ИЯФ основным средством измерения импульсных магнитных полей длительное время являлся КАМАК-модуль БИИП-4, использующий классический метод двухтактного интегрирования. Аппаратная реализация указанного метода опирается на схему аналогового интегратора.

В представленной работе описан ряд теоретических аспектов иного, отличного от указанного, метода получения интеграла импульсного сигнала. Основывается метод на суммировании цифровых отсчетов высокоразрядного АЦП. Интервал интегрирования задается быстродействующим ключом и может быть привязан к конкретной фазе работы установки. Сформированный ключом сигнал проходит через фильтр нижних частот и подвергается преобразованию в цифровой код. Фильтрация, увеличивая протяженность исходного сигнала во времени, сохраняет величину его интеграла неизменным. Принципиально достижимая точность приближения интеграла сигнала суммой выборок АЦП определяется частотой дискретизации, параметрами фильтра и не зависит от длительности входного сигнала, которая, теоретически, может быть сколь угодно меньше времени между выборками АЦП. В работе с теоретических позиций рассматриваются следующие принципиальные вопросы:

Влияние фильтрации на величину интеграла измеряемого сигнала.

Необходимое соотношение между параметрами фильтров измерительного тракта и частотой дискретизации АЦП.

Влияние шумов электроники на результирующие шумы интеграла.

Научный руководитель – канд. техн. наук А. М. Батраков.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ВОДЫ В ОБЛАСТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

А. А. Павлова

Томский государственный университет

Области аномальной дисперсии диэлектрической проницаемости (ДП) жидкой воды и льда находятся в различных областях частотного диапазона электромагнитного излучения: для льда в диапазонах ОНЧ и НЧ, для воды – в СВЧ и КВЧ. Фазовый переход типа плавление-заморозание относится к фазовым переходом первого рода, в которых состояние вещества от жидкого к твердому меняется скачком. Это означает, что величина диэлектрической проницаемости, измеряемой в микроволновой области частот, в точке фазового перехода должна резко уменьшиться. Исследование, проведенное нами, показало, что изменение величин комплексной ДП в момент фазового перехода происходит в течение некоторого времени. Кроме того, отмечены различия в величинах ДП при разных направлениях изменения температуры – «таялая вода» имеет несколько меньшее значение ДП по сравнению с замораживаемой водой.

Считается установленным факт, что «таялая» вода является особым состоянием воды, наблюдается отличие целого ряда физико-химических свойств: ДП, рН, окислительно-восстановительный потенциал, удельная проводимость и др.

Исследования ДП проводились на радиоспектроскопе, который состоит из: 1) анализатора цепей Agilent Technologies PNA E8363B, 2) датчика в виде открытого конца волновода. Для проведения температурных исследований использовалась микроклиматическая камера МККЗ. Температура определяется по изменению сопротивления терморезистора, который подключен к измерителю LCR. Радиоспектроскоп позволяет исследовать диэлектрическую проницаемость жидкостей в диапазоне частот от 500 МГц до 40 ГГц и интервале температур – 30...+ 60 °С.

Объектом исследования являлась водопроводная вода. Оценка отличия ДП производилась компаративным методом, т.е. сравнивались значения ДП охлажденной водопроводной воды и воды, полученной при размораживании при одной и той же температуре на ряде фиксированных частот: 1, 3, 5 и 10 ГГц в интервале температур от 0 до 4 °С.

Обнаружено, что величины ДП размороженной воды на выбранных частотах имеют более низкое значение по сравнению с замораживаемой.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. И. Суслев.

СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ВЧ ГЕНЕРАТОРА АТОМАРНОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ИНЖЕКТОРА

К. А. Пирогов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН уже более двадцати лет ведутся работы по созданию инжекторов нейтральных атомов для активной корпускулярной диагностики плазмы в термоядерных установках. В подобных диагностиках используются пучки как тяжелых ионов и атомов, так и легких высокоэнергетичных, в частности пучки атомов водорода. Одним из способов получения пучка H^0 является переработка пучка извлекаемых из плазмы ионов H^+ на перезарядной мишени (нейтрализаторе). Для получения плазмы в ионных источниках применяют различные конструкции плазменных эмиттеров. Наиболее простым в создании и надежным в использовании является высокочастотный плазменный эмиттер.

В ИЯФ строится стенд для испытания высокочастотных плазменных эмиттеров с различными характеристиками, которые впоследствии будут устанавливаться в ионные источники атомарных инжекторов. ВЧ генератор стенда собран на двух лампах ГУ-92А, включенных параллельно. Для защиты этих ламп от выхода из строя при возникновении пробоев требуется система, которая бы отключала источник анодного питания от лампового каскада за время, не превышающее нескольких микросекунд.

Основой системы быстродействующей защиты является высоковольтный ключ на суммарное напряжение 20 кВ, состоящий из последовательно включенных IGBT модулей. Основной проблемой при последовательном соединении IGBT или MOSFET является выравнивание напряжения на отдельном элементе как в статическом, так и в динамическом режимах. В противном случае из-за разброса временных характеристик наиболее быстрые или медленные транзисторы могут выйти из строя.

Разработка высоковольтного ключа на напряжение 20 кВ и ток до 50 А, состоящего из последовательно включенных транзисторов актуальна не только для подобных систем быстродействующей защиты, но и для источников питания, так как позволит производить импульсное регулирование высокого напряжения в широких пределах.

Научные руководители – канд. техн. наук В. В. Колмогоров,
И. А. Гусев.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СДВ РАДИОСИГНАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕРМИНАТОРА И СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

А. С. Полетаев

Иркутский государственный технический университет

СДВ-диапазон (частоты 3–30 кГц) широко используется для дальней радиосвязи, в системах радионавигации и для передачи сигналов единого времени и эталонных частот. Так как распространение электромагнитных колебаний СДВ диапазона происходит в волноводном канале Земля–ионосфера, то на распространение радиоволн оказывает влияние концентрация электронов в ионосфере, геомагнитные бури, солнечный ветер, электромагнитное излучение Солнца (рентгеновское, ультрафиолетовое), космические лучи, электрические свойства поверхности Земли и др. [1].

В настоящее время работы по предвестникам землетрясений остаются одной из самых актуальных проблем геофизики. Проблема прогноза времени землетрясения за несколько суток остается одной из важнейших. Электромагнитные методы рассматриваются как кандидат для краткосрочного прогноза землетрясений [2].

В нашем эксперименте производится исследование нижней ионосферы с помощью когерентного приема СДВ-сигналов различных радионавигационных станций, расположенных в Великобритании, Норвегии, Франции, США, Австралии, Японии. Из всего спектра частот, поступивших на приемную антенну в Иркутске, выделяется сигнал от 10 таких станций. Амплитуда сигнала от каждой станции оцифровывается, усредняется за 1 секунду и записывается в файл с расширением *.txt. Для обработки экспериментальных данных специально в среде MATLAB написана необходимая программа.

В работе рассматривается влияние движения терминатора и различного рода солнечных вспышек на условия распространения СДВ-сигналов в волноводе Земля–ионосфера от выбранных станций. С точки зрения процессов, протекающих в ионосфере, описывается как суточное, так и сезонное изменение уровня сигнала.

1. В. И. Нестеров. Основные направления исследования распространения радиоволн СДВ-диапазона в Дальневосточном регионе. 2009.

2. М. С. Соловьева. Диагностика крупномасштабных ионосферных возмущений сейсмического происхождения зондирующими низкочастотными сигналами. 2008.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. Г. Ченский.

РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ШАЛ НА ЧАСТОТЕ 32 МГц

В. Д. Потапова

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова
Институт космофизических исследований и аэронауки
им. Ю. Г. Шафера СО РАН, г. Якутск

Частица сверхвысокой энергии взаимодействует, попадая в атмосферу и рождая каскадный процесс, называемый широким атмосферным ливнем (ШАЛ). Каскад частиц, содержащий электроны и позитроны, в геомагнитном поле образует диполь, который излучает радиоимпульс в основном в диапазоне десятков мегагерц, свободном от антропогенного радиоизлучения. Для наблюдения радиоизлучений ШАЛ на средней частоте 32 МГц используется изготовленная нами аналоговая аппаратура с полосой 8 МГц и общим усилением 60 дБ. Она состоит из: дипольной антенны, широкополосного предварительного усилителя (20 дБ), линии кабельной связи, второго предварительного усилителя (20 дБ) и оконечного устройства, в котором, кроме усиления (20 дБ), производится детектирование сигнала, и вырабатывается импульс, амплитуда которого пропорциональна величине радиосигнала. Аналоговая часть аппаратуры выполнена на малошумящих элементах и собственные шумы, приведенные к входу, в 10 раз меньше флуктуационной составляющей шума естественного фонового радиосигнала.

Флуктуационный фон величиной около $10 \text{ мВ/м} \times \text{МГц}$ на этих частотах создается в основном галактическими шумами и его регистрируемая нами величина соответствует ожидаемой (Rec. ITU-R P.372-9). Изменение величины флуктуационной составляющей соответствуют вариациям поглощения атмосферы, что используется для измерения этих вариаций. Зимой, при отсутствии гроз, наблюдаются импульсы, превосходящие по величине фон на порядок с заполнением около 32 МГц, трех типов: одиночные, пачки длительностью 30–60 мкс из 10–15 импульсов ($\sim 1 \text{ мкс}$) и заполненные шумом (30–60 мкс). Одиночные радиоимпульсы, длительностью около 0,2–1,2 мкс и величиной $1\text{--}2 \text{ мВ/м} \times \text{МГц}$ встречаются с частотой около трех раз в минуту. Регистрируемые на установке ШАЛ сопровождаются такими импульсами. Их параметры соответствуют теоретически рассчитанным. Пачки импульсов и шумовые интерпретируются, как сигналы гроз на Юпитере.

Работа поддержана грантом РФФИ 09-05-98540-р_восток_a и программами Президиума РАН 16, ФАНИ г. к. 02.740.11.0248 и РНП 2.1.1/2555.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
В. И. Козлов.

ФОРМИРОВАНИЕ ИОННО-КЛАСТЕРНЫХ ПУЧКОВ

В. С. Прощенко

Новосибирский государственный университет

В современной электронной промышленности существует потребность в изделиях с минимальной шероховатостью поверхности. Используемые методы полировки ионными пучками позволяют достичь лучших результатов по сравнению с традиционной механической обработкой, но все же не являются лучшими на сегодняшний день. Существует несколько работ, посвященных новым способам полировки за счет бомбардировки поверхности высокоэнергетическими ионно-кластерными пучками [1, 2]. Такой метод позволяет получать образцы с параметром шероховатости до единиц ангстрем любых, в том числе сверхтвердых материалов, и на данный момент не имеет себе равных.

Данная работа посвящена получению заряженных кластерных пучков аргона. В ходе работы было изучено формирование кластеров при сверхзвуковом расширении газа из сопла, подобраны оптимальные параметры ионизатора для более эффективной ионизации кластеров в атомарном пучке. Ионно-кластерные пучки детектировались и исследовались квадрупольным масс-спектрометром Hiden EPC1000. Получены зависимости ионного тока кластеризованного пучка от давления в форкамере сопла.

В работе использован ионизатор с продольной ионизацией атомарного пучка. Соосность электронного и атомарного пучков позволяет достичь более эффективной ионизации кластеров. Рассмотрены технические проблемы такой методики. Приведены способы оценки размеров больших кластеров вне пределов динамического диапазона масс-спектрометра. После ионизации кластеры проходили систему ускорения и фокусировки. В результате получен ионно-кластерный пучок аргона со средним размером кластеров порядка 1000 атомов и энергией около 30 кэВ, пригодный для полировки поверхностей.

1. N. V. Popok, E. B. Campbell, Beams of atomic clusters: effects on impact with solids, Rev. Adv. Mater. Sci. 11(2006)19-45

2. I. Yamada, Cluster ion beam technology – 20 years of R&D history, Nuc. Inst. Met. in Ph. Res., B 257 (2007) 632-638

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. Е. Зарвин.

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЛЕРА ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С CAN И ETHERNET ИНТЕРФЕЙСАМИ

М. А. Путилов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время, шаговые двигатели являются неотъемлемой частью многих промышленных и экспериментальных установок. Если существует необходимость с высокой точностью перемещать или вращать некий элемент, то, зачастую, без шагового двигателя в этом случае не обойтись. Но для того чтобы управлять двигателем и иметь возможность максимально использовать его потенциал, требуется специальная плата управления – контроллер шагового двигателя (КШД), которая управляет работой двигателя и обеспечивает его связь с компьютером посредством некоторого установленного интерфейса.

В Институте Ядерной Физики шаговые двигатели также активно используются. Для их управления применяют КШД-485, собранный на элементной базе десятилетней давности. Контроллер использует интерфейс RS-485 в сочетании с протоколом, разработанным в институте. Желание использовать стандартный протокол связи породило потребность в новом контроллере с CAN и Ethernet интерфейсами.

В основе нового КШД лежит микроконтроллер фирмы Luminary Micro LM3S8971 на ядре ARM Cortex M3. Встроенные в него CAN и Ethernet контроллеры позволяют реализовать на базе этого микроконтроллера устройство сразу с двумя распространёнными и достаточно современными интерфейсами. В качестве токовых драйверов в КШД используются микросхемы A3957, при использовании которых получается гальванически развязать силовую и логическую части устройства. Также эти микросхемы позволяют аппаратно изменять предельный выходной ток потенциометром, и дробить базовый шаг двигателя до 1/16 его части. Разработанный контроллер поддерживает двухобмоточные биполярные и четырёхобмоточные униполярные двигатели. При работе контроллер способен использовать до двух концевиков. Кроме новых интерфейсов, он обладает улучшенными параметрами движения и удержания, имеет расширенный состав команд, способен работать в широком диапазоне входных напряжений, и собран на современной элементной базе. Использование контроллера планируется в паре с источником питания. Плата управления и источник питания крепятся на DIN рейку.

Научные руководители – В. А. Чекавинский, канд. техн. наук
С. В. Тарарышкин.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ВИДИМОСТИ

Н. А. Сейфи

Новосибирский государственный технический университет
Новосибирский филиал Института физики полупроводников
им. А. В. Ржанова СО РАН «Конструкторско-технологический институт
прикладной микроэлектроники»

Наблюдение за объектами и принятие решений на основе этих наблюдений всегда было актуальным как в мирных, так и в военных целях. В условиях ограниченной освещенности проблема наблюдения решается с помощью высокочувствительных видеокамер и приборов ночного видения, а также с помощью использования дополнительного освещения – подсветки. Но ограничение видимости может быть связано еще и с таким фактором, как неоднородность атмосферы (дождь, снег, туман, пыль). Повышение чувствительности прибора наблюдения проблему не решает, т.к. наблюдаемый объект загорожен от наблюдателя мелкими частицами, и в прибор становится лучше видно частицы, а не объект. Использование подсветки в таких условиях порождает другую проблему – свет от прожектора отражается не только от подсвечиваемого объекта, но и от каждой частицы, находящейся в атмосфере между наблюдаемым объектом и прожектором. При этом независимо от мощности прожектора интенсивность света, отраженного от объекта, меньше интенсивности света, отраженного от частиц, т.к. они находятся ближе.

В качестве решения данной проблемы было предложено использовать не непрерывную подсветку и непрерывное наблюдение, а импульсную подсветку и импульсное наблюдение. При этом фотоприемник и прожектор должны быть согласованы.

Экспериментальная установка состоит из ИК-прожектора, телевизионной камеры и видеомонитора, а также самостоятельно разработанной платы управления, которая определяет время включения/выключения прожектора и электронной шторки видеокамеры, управляет режимами, позволяет оператору менять их. На плате находится микропроцессор, источники питания и две кнопки, с помощью которых наблюдатель регулирует времена задержек включения/выключения прожектора, подсветки и шторки в зависимости от дальности до наблюдаемого объекта.

Проведенные эксперименты подтвердили возможность использования предложенного метода решения проблемы ограниченной видимости в условиях неоднородности атмосферы.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. К. Дмитриев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ИНЖЕКТОРЕ НОВОСИБИРСКОГО ЛСЭ

Н. О. Стрельников

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Получение высоких параметров электронного пучка на выходе из инжектора лазера на свободных электронах (ЛСЭ) является важной задачей, решение которой необходимо как для увеличения выходной мощности излучения ЛСЭ, так и для оптимизации работы ускорителя. При этом особенно важно добиться повышения пикового тока электронного сгустка и сохранить его продольный и поперечный эмиттансы.

Генерации электронных сгустков в инжекторе Новосибирского ЛСЭ осуществляется при помощи электростатической пушки. Заряд каждого сгустка на выходе из пушки составляет ~ 1 нКл, а его длительность ~ 1 нс. Далее сгустки попадают в инжекционный канал, где происходит их продольная группировка и предварительное ускорение. На этом этапе для поперечной фокусировки пучка используются соленоиды. Из-за сферических и хроматических aberrаций в соленоидах возможен рост поперечного эмиттанса.

Основной задачей данной работы было выполнение численного моделирования динамики электронного пучка в инжекторе с учетом объемного заряда сгустка, а также реальных распределений электрических полей пушки и ВЧ резонаторов, и магнитных полей соленоидов. Для моделирования использовались пакеты программ Astra и USAM, SAM [1,2].

В работе представлены результаты расчета динамической задачи формирования пучка в электронной пушке с учетом объемного заряда при помощи пакета программ USAM. Полученное распределение частиц было использовано при расчете движения пучка в оставшейся части инжектора в пакете программ ASTRA. В ближайшем будущем планируется провести сравнение полученных результатов с экспериментальными данными, а так же подобрать оптимальный режим работы инжектора.

1. М. А. Тиунов, Б. М. Фомель, В. П. Яковлев, «SAM – интерактивная программа для расчета электронных пушек на мини-ЭВМ»

2. А. В. Иванов «Создание программ для расчета электронно-оптических систем и их применение при разработке новых поколений электронных охладителей»

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук О. А. Шевченко.

БЛОК ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ БЕТАТРОННЫХ ЧАСТОТ ДЛЯ БУСТЕРА NSLS-2

А. С. Стюф

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В ИЯФ СО РАН разрабатывается система измерения бетатронных частот для бустера NSLS II (США). Горизонтальная и вертикальная бетатронные частоты являются важными характеристиками бустера. Знание этих частот позволяет работать в устойчивом режиме с минимальными потерями пучка. Особенностью данной работы является способность системы многократно измерять бетатронные частоты в течение цикла ускорения пучка (около 0.5 сек). Всего за время ускорения пучка система позволяет выполнить до 200 измерений с интервалом 2.5 мс.

Принцип работы системы основан на возбуждении пучка электронов радиочастотным (РЧ) импульсом с частотой заполнения близкой к бетатронной частоте. По окончании РЧ импульса возбуждения осуществляется регистрация сигнала бетатронных колебаний пучка с последующей цифровой обработкой. Система измерения частот должна обеспечивать измерения бетатронных частот в диапазоне ± 0.5 (в единицах частоты обращения) с погрешностью не более 0.0005.

Возбуждение пучка осуществляется с помощью специального устройства – кикера на основе полосковых линий. На каждую из четырех расположенных под углом 90° пластин подается РЧ импульс амплитудой до 100 В с частотой $f_b = (1 + v_{x,y})f_0$, где f_0 – частота обращения пучка, $v_{x,y}$ – частоты горизонтальных и вертикальных бетатронных колебаний. Длительность РЧ импульса составляет 100 – 500 мкс. Прием сигнала пучка осуществляется с помощью пикапа, также выполненного на полосковых линиях. Сигнал пучка подвергается аналоговой и цифровой обработке. Аналоговая обработка заключается в выделении из спектра сигнала 264-й гармоники частоты обращения частотой около 500 МГц. После оцифровки сигнала с помощью АЦП дальнейшая обработка осуществляется внутри FPGA Cyclone III. Главной частью обработки сигнала является Фурье-преобразование, результатом которого является спектр сигнала. Путем обработки спектра сигнала вычисляются искомые бетатронные частоты v_x и v_y .

В данной работе представлены особенности построения системы, приведены экспериментальные результаты.

Научный руководитель – канд. техн. наук Г. В. Карпов.

РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ МАГНИТОРАЗРЯДНОГО НАСОСА

Б. А. Числов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Для получения высокого вакуума в промышленных ускорителях электронов серии ЭЛВ, производимых в ИЯФ СО РАН, используются магниторазрядные насосы типа НМД-04. Питание насосов осуществляется блоками БП-140, которые были разработаны еще в 50-х годах прошлого столетия и уже не удовлетворяют современным требованиям. Аналогичные отечественные и зарубежные источники питания либо имеют чрезмерно высокую цену, либо не обладают достаточной степенью надежности, либо их выходная вольт-амперная характеристика не оптимальна для питания магниторазрядного насоса. Таким образом, появилась потребность в разработке источника питания, который будет полностью удовлетворять вышеуказанным требованиям.

Основным элементом нового источника питания является инвертор напряжения, выполненный по мостовой схеме на IGBT транзисторах, к выходу, которого подключен повышающий трансформатор. Высокое выходное напряжение, принцип регулирования которого аналогичен описанному в работе [1], снимается с трансформатора через схему выпрямления с удвоением напряжения. В качестве формирователя сигналов управления транзисторами моста используется микроконтроллер, который имеет встроенный блок 10-разрядного АЦП, что позволяет организовать обратную связь без применения дополнительных устройств. Как было указано выше, оптимальная ВАХ магниторазрядного насоса довольно специфична, использование микроконтроллера удобно не только тем, что позволяет формировать заданную ВАХ, но и тем, что позволяет изменять её без внесения конструктивных изменений в схему устройства.

На данном этапе разработки спроектирована принципиальная схема устройства и ведется работа над созданием его макета.

1. Golubenko Yu. I., Kuksanov N. K., Nemytov P. I., Salimov R. A., Fadeev S.N. "High power transistor frequency converter for supply of industrial transformer type electron accelerators", Vacuum 62 (2001) 75-76, pp 251-256.

2. Г. А. Васильев, Магниторазрядные насосы. М., изд-во «Энергия»б 1970.

Научные руководители – Ю. И. Голубенко, д-р техн. наук
П. И. Немытов.

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ МОДУЛЯТОРА ДЛЯ ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

М. В. Якищенко

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В связи с модернизацией лазера на свободных электронах, находящегося в ИЯФ СО РАН, возникла необходимость разработки нового источника питания для катодного узла установки. Препятствием для разработки нового источника питания, который был разработан более 20 лет назад, во-первых, морально устарел, во-вторых, не рассчитан на ту мощность, на которую предполагается вывести установку.

Источник питания для электроники катодного узла лазера на свободных электронах состоит из семи отдельных источников питания для различных электронных систем катодного узла лазера. Общая мощность всех источников составляет до 300 Вт. Напряжение нескольких источников питания управляется от ЦАПА (в частности ток накала), а один из источников «подвешен» на напряжение 130 В. Особенностью источника является то, что он находится под потенциалом в 300 кВ, из-за чего питание к нему подается через специальный трансформатор без магнитопровода, в результате чего коэффициент передачи мощности составляет порядка 10%. Для того чтобы максимально увеличить коэффициент передачи мощности схема настраивается на резонанс. Из-за этого напряжение, которое питает источник, может изменяться в большом диапазоне от 150 В до 700 В в зависимости от нагрузки. Поэтому необходим стабилизатор переменного напряжения. В качестве такого стабилизатора выступает электронная схема с использованием двух магнитных усилителей. Благодаря использованию именно магнитных усилителей, а не каких либо других стабилизаторов, обеспечивается высокая защищенность от выхода из строя электроники в результате высоковольтных пробоев и предварительная стабилизация переменного напряжения

В данной работе рассматривается разработка источника питания для электронных систем лазера на свободных электронах. Источник выполнен на современной элементной базе.

-
1. П. Хоровиц, У. Хилл, «Искусство схемотехники». М.: «Мир», 1986.
 2. Г. И. Атабеков, «Основы теории цепей». Энергия. 1969

Научный руководитель – канд. техн. наук В. В. Репков.

ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР, ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И МАГНЕТИЗМА

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОВОДИМОСТИ И МАГНЕТОПРОВОДИМОСТЬ ОТОЖЖЕННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ

С. Д. Бороданов^{1,2}, А. И. Романенко^{1,2}, О. Б. Аникеева^{1,2},
В. Л. Кузнецов^{2,3}, К. В. Елумеева^{2,3}, С. И. Мосеенков^{2,3}

¹ Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН

² Новосибирский государственный университет

³ Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН

Ряд уникальных свойств делает углеродные нанотрубки перспективным материалом в нанoeлектронике и других областях современной физики, а совершенствование характеристик и получение нанотрубок с заданными свойствами является одной из важных задач.

Согласно данным просвечивающей электронной микроскопии у синтезированных многослойных углеродных нанотрубок имеются дефекты на внешних слоях. Также было показано, что при температурном отжиге их количество уменьшается, причем при увеличении температуры отжига нанотрубки стремятся к идеальному состоянию: становятся прямее, уменьшается количество дефектов, поверхность сглаживается. Можно предположить, что температурный отжиг также влияет и на электрофизические свойства нанотрубок, потому что в наноструктурных материалах приповерхностные атомы оказывают значительное влияние на полное количество атомов в системе, при этом вклад квантовых эффектов становится существенным.

В работе измерены и исследованы температурные зависимости проводимости (в интервале 4,2–300 К) и магнетопроводимость многослойных углеродных нанотрубок с разными внешними средними диаметрами (8–10 нм и 20–22 нм), отожженных при температурах 1600–2800°C, а также композиты на основе их. Изучение композитов на основе нанотрубок интересно с практической точки зрения, так как их нанесение на различные поверхности возможно в составе скрепляющего вещества.

Показано, что отжиг влияет на проводимость и магнетопроводимость нанотрубок. Поведение данных зависимостей стремится к поведению зависимостей для пиролитического графита.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. И. Романенко.

ЗНАКОПЕРЕМЕННЫЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МАГНИТОВЯЗКОМ СПЛАВЕ Fe86Mn13C (СТАЛЬ ГАДФИЛЬДА).

М. Н. Волочаев, О. С. Букина

Сибирский государственный аэрокосмический университет

им. М. Ф. Решетнева, г. Красноярск

Восточно-Казахстанский государственный технический университет

им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Сталь Гадфильда (110Г13Л) – износостойкий, неферромагнитный материал. Однако после длительной динамической нагрузки в деталях из стали появляется намагниченность. В данной работе обсуждается вопрос о связи структуры, механических, электрических и магнитных свойств сплава 110Г13Л. Образец стали 110Г13Л подвернули ударной нагрузке. Затем произвели замеры ЭДС в различных частях образца. Выяснилось, что в зоне, подвергнутой динамической нагрузке появилась контактная разность потенциалов, тогда как в других частях образца она отсутствует. При нагревании образец ведет себя как термopара. График изменения термоЭДС показывает резкую перемену знака термоЭДС при достижении температуры 190-200 °С.

Для выяснения причины появления данного эффекта были проведены следующие исследования: изучение структуры и фазового состава образца; рентгеноструктурный анализ; химический анализ; изучение магнитных свойств. По произведенной работе можно сделать следующие выводы: Обнаружена термоЭДС в различных точках образцов ударно-деформированного сплава Fe86Mn13C. Знак термоЭДС может изменяться в зависимости от температуры. Причина появления термоЭДС связана с контактной разностью потенциалов на границе раздела двух фаз: антиферромагнитного аустенита и ферромагнитного мартенсита деформации. Природу появления знакопеременного термоэлектрического эффекта можно объяснить с позиции сосуществования в образцах неоднородностей кристаллической и магнитной структур. Обнаружен эффект магнитного последействия (магнитной вязкости) в массивных образцах сплава Fe86Mn13C и его изменение под действием длительных ударных механических воздействий.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Л. И. Квеглис.

ЗНАКОПЕРЕМЕННЫЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МАГНИТОВЯЗКОМ СПЛАВЕ Fe86Mn13C (СТАЛЬ ГАДФИЛЬДА)

Л. И. Квеглис, Ю. В. Паничкин, В. В. Семченко
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Сплав Fe86Mn13C, содержит 1,2% С и 13% Мп, имеет название «сталь Гадфильда» и марку 110Г13Л. В экстремальных условиях трения (под давлением и ударами), сплав проявляет высокую износоустойчивость, при низкой твердости (200–230 НВ). Хотя данная сталь и исследована достаточно широко, но существуют еще вопросы о природе самоупрочнения и локального изменения намагниченности в ней при ударной нагрузке.

В работе [1] установлено, что в сплавах Fe-Mn и Fe-Mn-C существует сложный магнитный порядок, подобный порядку в спиновом стекле, который устанавливается благодаря сосуществованию антиферромагнитной фазы и ферромагнитных включений. В образцах стали 110Г13Л, закаленных на аустенит, после ударной деформации (в маятниковом копре) при комнатной температуре обнаружена контактная разность потенциалов. При нагревании образец ведет себя как термопара, т.е. контактная разность потенциалов увеличивается с ростом температуры и может изменять знак.

В работе обнаружена термоэлектродвижущая сила (тЭДС) в различных точках образцов ударно-деформированной стали 110Г13Л. Знак тЭДС может изменяться в зависимости от температуры. Причина появления тЭДС связана с контактной разностью потенциалов на границе раздела двух фаз: антиферромагнитного аустенита и ферромагнитного мартенсита деформации. Природу появления знакопеременного термоэлектрического эффекта можно объяснить с позиции сосуществования в образцах неоднородностей кристаллической и магнитной структур. Обнаружен эффект магнитного последствия (магнитной вязкости) в массивных образцах стали 110Г13Л и его изменение под действием длительных ударных механических воздействий.

1. W. Stamm, H. Zähres, M. Acet, K. Schletz, E. F. Wassermann Magnetization and thermal expansion in Fe-Mn and Fe-Mn-C alloys / J. Phys. Colloques 49 (1988) C8-315-C8-316.

2. Квеглис Л. И., Жигалов В. С., Казанцева В. В., Кузовников А. В., Мусихин В. А., Софронов П. В. Особенности структуры межзеренных границ в сплавах инварного состава на основе Fe-Mn и Fe-Ni / Москва, Нанотехника, №4(12), 2007, с.72-77.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Л. И. Квеглис

ЭЛЕКТРОННЫЙ ТРАНСПОРТ В УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ С РАЗЛИЧНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ СЛОЁВ

К. М. Лимаев

Новосибирский государственный университет

Одним из наиболее развивающихся направлений настоящего времени являются нанотехнологии. Это связано с возможностью разработки новых технологий на основе наноструктур. Таким образом, всестороннее исследование наноструктур, в том числе и углеродных, является актуальной задачей на сегодняшний день. Важным является исследование их электрофизических свойств как с практической точки зрения, так и с точки зрения изучения фундаментальных свойств твердого тела. Измерение температурной зависимости сопротивления является одним из наиболее распространенных и надежных методов исследования различных материалов с целью установления механизмов транспорта заряда, определяющих проводимость различных систем.

Целью данной работы является исследование электронного транспорта в углеродных нанотрубках с различным количеством слоёв.

Для этой цели были выбраны образцы нанотрубок имеющие количество слоёв в диапазоне от 5 до 30 слоёв. Образцы представляли собой порошок, запрессованный в ампулу, до момента, когда его резистивные свойства не зависели от степени сжатия. Контакт с материалом осуществлялся серебряной проволокой диаметром 0.1 мм. Все измерения проводились по четырех-контактной схеме, с целью исключить вклад контактов в значение проводимости, в диапазоне температур от 300 до 4.2 К.

Результатом работы стало получение данных для подробного анализа электронного транспорта образцов с разным количеством слоёв. На температурных зависимостях проводимости для трубок с большим количеством слоёв (от 20 до 30 слоёв) наблюдается существенный вклад квантовых поправок к проводимости ниже температуры 20 К. А на температурных зависимостях проводимости для трубок с малым количеством слоёв (от 5 до 10 слоёв) наблюдается существенный вклад прыжковой проводимости с переменной длиной прыжка ниже температуры 20 К.

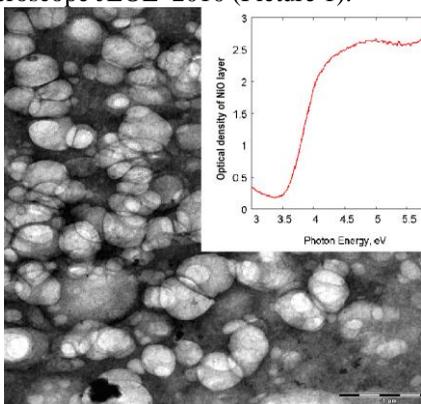
Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. И. Романенко

THE ELECTRON-MICROSCOPE INVESTIGATION OF NI-NiO THIN FILMS WITH QUANTUM DOTS

М. С. Рахимова, В. В. Казанцева, Г. Б. Тажибаева
Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

The aim of this investigation is finding out the possibility of quantum dots producing at Ni-NiO thin films surface by creation NiO islets with nanometer size. To reach these purposes we need to solve the following tasks: to reveal special optical properties of Ni-NiO thin films, to find out the dependences of nickel films structural and magnetic properties after oxidation; to analyze thin magnetic structure revealed by high-resolution electron microscopy.

To create the nickel oxide islets with nanometer proportion is very difficult, because NiO covers the film with solid layer. It is revealed that there is no oxide film at the initial state because the film is covered by thin carbon layer during the evaporation in the simple vacuum camera VUP-2K type and then becomes protected from oxidation. During the process of annealing at the surface heated below 500 °C the carbon burns and local oxidation of Ni in the form of islets with nanometer size takes place. To reveal the sizes and shapes of NiO quantum dots the annealed samples were under high-resolution transmission electron microscope JEOL-2010 (Picture 1).



Picture 1. Electron-microscope picture of Ni film with NiO islets with nanometer size; the inset shows the optical density spectrum of film produced in Shimadzu UV-3600 spectrometer with 0.015 eV resolution.

It is revealed increasing films magnetization after the process of annealing and formation of NiO islets with nanometer size. It was thin magnetic structure with 10 Å period found out in the high-resolution electron microscopy.

-
1. S. I. Shablaev, R.V. Pisarev, PhTT, 2003, V. 45, № 9, p. 1660-1663

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Л. И. Квеглис.

ВЛИЯНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОКИСЛЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

И. В. Тотосов¹, А. И. Романенко¹, О. Б. Аникеева¹,
В. Л. Кузнецов², И. Н. Мазов²

¹ Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН

² Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН

Использование модифицированных углеродных нанотрубок (УНТ) открывает широкие перспективы в области создания новых конструкционных материалов. Одним из эффективных способов повышения степени взаимодействия между трубками и диэлектрической матрицей композита является обработка поверхностей УНТ растворами кислот. Такая модификация также может облегчать диспергирование углеродных нанотрубок в соответствующих растворителях и матрицах.

Согласно данным просвечивающей электронной микроскопии, общая морфология трубок практически не изменяется после обработки кислотами. Наблюдается существенное уменьшение дефектов на поверхности УНТ.

Экспериментально установлено, что окисление поверхностных слоев УНТ в растворах кислот ведет к более быстрому падению проводимости с понижением температуры. Взаимодействие УНТ с диэлектрической матрицей в композите ведет к тому, что зависимость, типичная для эффектов слабой локализации и эффектов электрон-электронного взаимодействия при двумерном характере движения носителей тока, наблюдаемая для порошкообразных УНТ, сменяется зависимостью, близкой к типичной для прыжковой проводимости с переменной длиной прыжка для трехмерного случая.

То, что использование для композитов исходных и модифицированных УНТ дает различающиеся результаты, указывает на изменение взаимодействия между диэлектрической матрицей и поверхностными атомами УНТ при их окислении. Отрицательное магнитосопротивление указывает на существенную роль квантовых поправок к проводимости в наблюдаемых температурных и магнитополевых зависимостях.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. И. Романенко.

ТЕРМОЭДС РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ ДО 20 ГПА

В. В. Щенников, Н. В. Морозова, С. В. Овсянников
Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург

Высокое давление оказывает сильное влияние на кристаллическую решётку и на электронную структуру материалов. Величина и знак термоэдс чувствительны к изменениям кристаллической и электронной структуры материалов [1], по этой причине термоэдс является мощным инструментом для изучения сжатого вещества. В данной работе был исследован эффект Зеебека (термоэдс) редкоземельных металлов (Ce, Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb и Sm) при высоких давлениях до 20 ГПа. Измерения проводились на автоматизированной установке высокого давления с наковальнями из синтетических алмазов [1]. Автоматизированная установка позволяла одновременно регистрировать несколько свойств, таких как термоэдс, разность температур по толщине образца, объёмное сжатие и т.д. при почти непрерывном изменении давления. Значения термоэдс, измеренные в установке высокого давления при $P \approx 0$ ГПа, хорошо согласуются с опубликованными ранее данными [2-3]. Исследования позволили выявить аномалии термоэлектрических свойств, которые могут быть отнесены к фазовым переходам, найденным ранее в структурных исследованиях [4]. Впервые определены значения термоэдс в фазах высокого давления исследованных материалов до 20 ГПа. Закономерности изменения под давлением кристаллической структуры в ряду редкоземельных металлов [4] сопоставляются с установленным поведением термоэлектрических свойств этих металлов под давлением.

Работа частично поддержана грантом РФФИ и Программой Президиума РАН.

1. V. V. Shchennikov, S. V. Ovsyannikov, and A. Y. Manakov, Measurement of Seebeck effect (thermoelectric power) at high pressure up to 40 GPa, *J. Phys. Chem. Solids* 71, 1168 (2010).

2. M. V. Vedernikov, The Thermoelectric Powers of Transition Metals at High Temperatures, *Adv. in Phys.* 18, 337-370 (2005).

3. Electrical Resistivity, Thermoelectrical Power and Optical Properties, *Landolt-Bornstein-Group III Condensed Matter*, vol. 15b, 10.1007/b19992, Springer-Verlag (2006).

4. W. B. Holzapfel, Physics of solids under strong compression, *Rep. Prog. Phys.* 59, 29-90 (1996).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. В. Щенников.

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

NANOTECHNOLOGIES IN THERMIONIC PLASMA ENERGETICS

K. I. Sidorova, M. A. Mamelkina, A. S. Mustafaev
National Research Mining University

In recent years fundamental research into thermionic plasma energetics has been aimed at radical increase in efficiency of Thermionic Converters (TIC) compared to the level of ~10% previously achieved in space nuclear devices. For many years all the efforts of the scientific society have been futile.

At the turn of XXI century for the first time a possibility of a solution was detected in TIC's interelectrode gap, which contained a mixture of cesium vapors and cesium clusters in the form of Condensate of Excited States (CES) [1,2]. Such cluster contains up to 1000 excited Cs atoms, that under certain circumstances may become an ordered plasma crystal, i.e. Rydberg matter.

At NRMU, in the arc TIC with a flat geometry of electrodes we created a regime of dynamic blowing of Cs vapors in the interelectrode gap through a perforated collector. Only after special covering of the collector with carbon we managed to obtain a metastable Cs CES, in the form of a plasma crystal.

As a result of 2000 hours' long TIC laboratory model's testing we have got a steady decrease in anode's work function (1 eV) and an increase in efficiency (~25 %) at the emitter's temperature $T_E \sim 1600$ °K, collector's temperature $T_C \sim 700$ K.

Low emitter's temperature and a high efficiency factor of a thermionic system which directly converts heat into electricity gives us practicable prospects of implementation of such plasma systems in independent small energetics.

This research has been granted by Federal Agency Rosatom and the Ministry of Education.

1. Holmlid L. Proc. Thermionic Energy Conversion Specialist Conference. Goeteborg, Sweden. 1993. p.47.

2. Yarigin V.I. JETP Letters. 2003. v.77. issue 6. p.330.

Scientific adviser – Dr .Sci., Ph.D., Prof. A. S. Mustafaev.

ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПНОЙ ПЛАЗМЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ЗОНДАМИ

А. Ю. Грабовский, А. С. Мустафаев
Санкт-Петербургский государственный горный институт

Достижения нанoeлектроники будущего во многом будут зависеть от успехов в создании эффективных реакторов анизотропной плазмы для разработки транзисторов нанометрового размера к 2024 г [1].

Важнейшей характеристикой плазмы является функция распределения электронов (ФРЭ). Традиционно цилиндрическими зондами измеряют только изотропную ФРЭ. Для измерения ФРЭ в анизотропной плазме зонд ориентируют вдоль оси симметрии плазмы и перпендикулярно ей, и из этих измерений пытаются восстанавливать первый момент ФРЭ f_1 , который связан с конвективной скоростью электронов.

В [2] разработан зондовый метод исследования анизотропной плазмы. Показано, что традиционный способ определения f_1 является экспериментальным заблуждением, т. к. с помощью цилиндрического зонда могут быть определены только чётные моменты ФРЭ f_{2j} .

Нами разработан метод определения нечетных моментов ФРЭ путём решения системы кинетических уравнений Больцмана, связывающих между собой чётные и нечётные моменты (f_0, f_1) ; (f_0, f_1, f_2) и т.д.

Методика апробирована в плазме низковольтного пучкового разряда в гелии. Получены экспериментальные зондовые кривые для различных ориентаций цилиндрического зонда относительно оси симметрии плазмы. Рассчитаны моменты f_0, f_2 , а момент f_1 определен с помощью решения «векторного» кинетического уравнения

$$\bar{v} \text{grad}_r \left(f_0 + \frac{2}{5} f_2 \right) - \frac{e\bar{E}}{m} \left[\frac{\partial f_0}{\partial v} + \frac{2}{5} \frac{1}{v^3} \frac{\partial}{\partial v} \left(v^3 f_2 \right) \right] + v_{ea}^t f_1 = 0.$$

Точность восстановления f_1 контролировалась по совпадению расчетной и измеренной величине разрядного тока. Построены диаграммы направленного движения электронов.

Разработанный метод позволяет с помощью цилиндрических зондов определять полную функцию распределения электронов в анизотропной плазме.

1. Lieberman M. Plasma processing for nanoelectronics-history and prospects, Bull. APS, 2010, V. 55, №7, P. 105.

2. Mustafaev A.S. Probe method for investigation of anisotropic plasma. Plenum Press, 1998, NATO ASI Series B: Physics, V.367, P.531.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Мустафаев

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ РЕЛАКСАЦИЯ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В РАСПАДАЮЩЕЙСЯ ПЛАЗМЕ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

А. Ю. Грабовский, А. С. Мустафаев
Санкт-Петербургский государственный горный институт

Впервые рассмотрена возможность возникновения пучковой неустойчивости в распадающейся плазме инертных газов, в которой в результате реакций хемоионизации и ударов второго рода между возбужденными атомами и электронами возникают быстрые электроны. Преимущественное движение электронов к границам плазменного объема создает анизотропию их функции распределения.

Работа представляет интерес для разработки нового класса радиационно-стойких приборов плазменной энергетики, использующих анизотропную плазму.

Функция распределения электронов (ФРЭ) измерялась методом модуляции зондового тока. Одновременно регистрировались концентрации электронов n и метастабильных атомов гелия в состоянии 2^3S_1 .

На рис. 1 представлена ФРЭ в плазме послесвечения гелия.

Видно, что в энергетическом спектре действительно присутствуют электроны с энергиями 14,4 и 19,8 эВ.

Заметная трансформация вида ФРЭ происходит уже при $n \geq 3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$. Этот результат хорошо согласуется с критерием энергетической релаксации ФРЭ, установленным в [1].

В результате анализа характерного времени жизни быстрых электронов показано, что при «критической» концентрации быстрых электронов в плазме послесвечения инертных газов возникает пучковая неустойчивость, изменяющая вид ФРЭ и, как следствие, свойства плазмы. Это обстоятельство необходимо учитывать при использовании плазмы с быстрыми электронами для технологических целей.

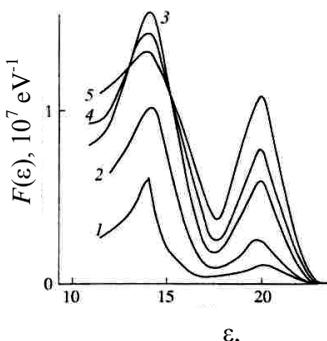


Рис. 1. Функция распределения электронов по энергиям в плазме послесвечения гелия. $n =$: 1 — $4,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$; 2 — 10^{11} см^{-3} ; 3 — $2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$; 4 — $3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$; 5 — $4 \cdot 10^{11}$.

1. Мустафаев А. С. Динамика электронных пучков в плазме. ЖТФ, 2001. Т.71. № 4, С.111.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМОТРОНА И ИСПАРИТЕЛЯ В ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ ПРОТОЧНОГО ТИПА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ

Р. М. Имансакипов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

На сегодняшний день в науке и промышленности активно используются электродуговые нагреватели газа, большой интерес к ним обусловлен возможностью создания высокопроизводительных аппаратов и технологий. Плазмотроны позволяют осуществлять процессы с большими скоростями, не протекающими в обычных условиях. Применение таких технологий в ряде отраслей промышленности весьма перспективно.

Плазмотроны с межэлектродной вставкой (МЭВ) используют в качестве источника высокой температуры для проведения химических реакций, в частности, для получения порошка диоксида титана (TiO_2) хлоридным методом, основанного на сжигании тетрахлорида титана ($TiCl_4$) в кислородсодержащей плазме. Этот способ имеет ряд весомых преимуществ – высокая производительность по конечному продукту, отсутствие промежуточных технологических стадий, экологичность и др.

В данной работе была собрана экспериментальная пилотная установка, исследованы важнейшие характеристики её основных частей – плазмотрона с МЭВ и испарителя тетрахлорида титана. К настоящему времени были проведены пробные запуски плазмотрона в сборке с испарителем с подачей воды в качестве испаряемого материала, был определен рабочий диапазон расходов сырья, сделана оценка тепловых потоков, идущих на нагрев и испарение рабочего материала. В режиме со вдувом закалочного газа была проведена оценка среднемассовой температуры струи в закалочной секции реактора. На основании этих данных, а также тестовых запусков с реагентом ($TiCl_4$) будут подобраны оптимальные режимные параметры реактора.

1. М. Ф. Жуков, И. М. Засыпкин, Низкотемпературная плазма т. 17, Электродуговые генераторы термической плазмы, издательство Наука (1999).

2. О. Г. Парфенов, Г. Л. Пашков, Проблемы современной металлургии титана, издательство СО РАН (2008).

3. М. Ф. Жуков, В. Я. Смоляков, Б. А. Урюков, Электродуговые нагреватели газа (Плазмотроны), издательство Москва (1973).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Е. В. Картаев.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА, ГЕНЕРИРУЕМОГО В ДИОДЕ С ПОТОКОМ АНОДНОЙ ПЛАЗМЫ, НАЛЕТАЮЩИМ НА НАКАЛИВАЕМЫЙ КАТОД

И. Е. Карпов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Для повышения параметров установки ГДЛ (ИЯФ СО РАН, [1]) предполагается использовать электронный пучок с энергией $\sim 30\text{--}50$ кэВ для нагрева электронов плазмы. Источник с подогреваемым катодом (LaB_6) с плотностью тока $\sim 5\text{--}10$ А/см² размещается на оси установки за выходной магнитной пробкой в расширителе ГДЛ в магнитном поле ~ 1 кГс. В эксперименте на источник будет налетать поток плазмы с температурой ~ 150 эВ и направленной энергией ионов до 700 эВ. При транспортировке в магнитном поле сформированный пучок будет сжиматься, что приведет к увеличению угловой расходимости скоростей электронов. Поэтому для прохождения в плазменный объем через магнитную пробку ГДЛ (100 кГс) электроны пучка должны иметь малый угловой разброс (< 0.3 рад).

В работе как вариант источника рассматривается диод с плазменным анодом. Аналитически получено распределение потенциала в одномерном плоском диоде с анодом, образованным потоком плазмы, в приближении холодных ионов и горячих электронов. Этот результат используется для двумерного моделирования диода со свободной плазменной анодной границей [2] и вычисления электронно-оптических характеристик электронного пучка. Проведен расчет вариантов с использованием анодной сетки и без нее.

Возможным продолжением работы является подробное рассмотрение области ускорения ионов в плазме вблизи плазменной границы с учетом ионной температуры.

Работа поддержана Министерством образования и науки РФ № 2.1.1/3983, грантами РФФИ № 10-08-00707, грантом программы Президиума РАН № 30, интеграционным проектом СО РАН № 34.

1. P. A. Bagryansky, A. A. Ivanov, E. P. Kruglyakov, et al. Gas dynamic trap as high power 14 MeV neutron source // Fusion Engineering and Design. Vol. 70, 2004, p.13-33.

2. V. Astrelin, A. Burdakov, G. Derevyankin, et al. Numerical Simulation of Diodes with Plasma Electrodes // Proceedings of 15th International Symposium on High Current Electronics: Tomsk: Publishing house of the IAO SB RAS, 2008, p.11-15.

Научный руководитель – канд. техн. наук В. Т. Астрелин.

РАЗРАБОТКА ОДНОАПЕРТУРНОГО ВЧ ИОННОГО ИСТОЧНИКА С НЕПРЕРЫВНЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ

Д. В. Кислер

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В ИЯФ СО РАН разрабатывается протонный источник с непрерывным режимом работы, основанный на высокочастотном разряде. Он должен формировать пучок с энергией 50 кэВ и ионным током до 100 мА. Источники с такими параметрами имеют широкое техническое применение в диагностике плазмы, ускорительной технике, имплантации ионов, протонной терапии и др.

Был изготовлен и испытан первый вариант ионного источника [1]. Работа источника в непрерывном режиме сопряжена со значительными тепловыми нагрузками, приходящимися, в основном, на элементы плазменной камеры. Для уменьшения этих нагрузок использовался фарадеевский экран, который, однако, позволил генерировать пучок с нужными параметрами только в модулированном (импульсном) режиме работы. В этом режиме разряд в источнике горел непрерывно, снижая мощность в паузах между импульсами пучка для поддержания разряда.

В ходе испытаний ионного источника с модулированным режимом работы измерены его важные параметры, такие, как потребляемая разрядом мощность и газовая эффективность. Измерены профиль тока пучка, угловая расходимость и массовый состав пучка.

Массовый состав пучка – это содержание в пучке частиц с полной энергией E , и частиц с энергиями $E/2$, $E/3$. Он измерялся с помощью доплеровской спектроскопии по линии излучения H_{α} .

Угловая расходимость пучка, определяющая его размер и возможность доускорения пучка до высоких энергий, измерялась по его профилю, полученному с помощью системы вторично-эмиссионных датчиков.

Целью данной работы является разработка ионного источника с непрерывным режимом работы на основе изготовленного источника с модулированным режимом работы.

Были проведены расчеты тепловых нагрузок на плазменную камеру в непрерывном режиме работы источника. В результате для предотвращения перегрева элементов плазменной камеры в непрерывном режиме работы источника добавлен канал охлаждения в фарадеевский экран.

1. Single aperture 70 mA, 50 keV radio-frequency proton source, I. V. Shikhovtsev, A. A. Ivanov, I. I. Averbich, et al., Preprint Budker INP 2010-24.

ИОННЫЙ ИСТОЧНИК С АЗИМУТАЛЬНЫМ ДРЕЙФОМ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ СИНТЕЗА ТОНКИХ ПЛЕНОК

Н. В. Нагирный

Новосибирский государственный университет

Ионные источники с энергиями более 500 эВ активно применяются для распыления, активации поверхности металлов, полупроводников и диэлектриков при создании и нанесения тонких покрытий и пленок [1]. Важными характеристиками являются пространственное распределение ионного потока, разброс ионов по энергиям [2]. В данной работе особый интерес представляет задача стабильности ионного потока и связанные с ним процессы возникновения пробоя в анод-катодном пространстве. В работе исследованы характеристики ионного источника с азимутальным дрейфом электронов [3]. Диаметр ионного пучка кольцевого типа 10 см, ширина щели не более 1 см. Получены вольтамперные характеристики при различных расходах аргона. Определены оптимальные и критические давления при напряжениях в диапазоне от 0,5 кВ до 1,7 кВ. Исследованы причины возникновения нестабильности разряда, установлено, что одна из возможных причин – это возникновение нано- и микроусов на катоде, которые вырастают в магнитном поле при распылении магнитного материала. В результате высокой напряженности электрического поля возникает автоэлектронная эмиссия, из-за которой возникает вакуумная дуга. В работе эффект распыления поверхности ионами аргона используется для определения пространственного распределения пучка на различных расстояниях. При взаимодействии ионов аргона с поверхностью меди в течение длительного времени (десятки минут) образуется хорошо видимая и измеряемая область. Проведены измерения формы пучка и определена плотность ионного потока по среднему диаметру пучка. В докладе даны рекомендации по усовершенствованию ионного источника и по режимам распыления, активации и синтезу нанопокровтий. Проведены исследования оптических свойств тонких пленок полученных с помощью данного ионного источника.

1. Золкин А. С. Юрковская Е. С. Углеродородные нанопленки на кремнии и стекле, полученный ионно-лучевым и магнетронным методами Сборник трудов девятой международной конференции "Исследования, разработка, и применение высоких технологий в промышленности" 2010г. Санкт-Петербург, с. 277-284

2. Физика и технология источников ионов // Под ред. Я. Брауна: Пер.с англ. – М.; Мир 1998 г. – 496с.

3. Сочугов Н. С. и др. Ионные источники с азимутальным дрейфом электронов. http://www.pronika.ru/ionsource_ru.htm

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент, А. С. Золкин.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПУЧКА БЫСТРЫХ НЕЙТРАЛЬНЫХ МОЛЕКУЛ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ УДЕРЖАНИЕМ ЭЛЕКТРОНОВ

В. В. Панин, А. Н. Пономарев, В. В. Прудников
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Представлены результаты исследования параметров плазмы, образующейся в результате инжекции в камеру объемом $V \approx 0,12 \text{ м}^3$ при давлении азота 0,2–1 Па широкого круглого пучка быстрых нейтральных молекул азота с энергией 1–4 кэВ и эквивалентным током 0,1–1 А.

Зависимости пространственного распределения концентрации плазмы от эквивалентного тока пучка I_b , его энергии E_b и давления газа p , свидетельствуют об определяющем вкладе в ионизацию газа быстрых молекул, а зондовые характеристики обнаруживают в плазме две группы электронов с температурами $T_e \sim 0,4 \text{ эВ}$ и $T_e \sim 16 \text{ эВ}$. При погружении в плазму изолированного от камеры электрода и подаче на него напряжения U положительной полярности возникает несамостоятельный разряд. С повышением U от $\sim 0,5$ до $\sim 1,5 \text{ В}$ ток разряда быстро достигает некоторой величины I^* , а затем темп его роста dI/dU снижается на порядок. При напряжении $U \sim 10 \text{ В}$ ток I повышается до $I_0 \approx 1,5I^*$, а dI/dU снижается еще на порядок. Ток I_0 определяется числом образующихся в камере в единицу времени электронов и возрастает с увеличением E_b , I_b и p . При $U > 20 \text{ В}$ благодаря ионизации газа быстрыми электронами, эмитированными камерой и ускоренными в слое между ее стенками и плазмой до энергии $\sim eU$, рост тока I возобновляется. С увеличением U до $\sim 50 \text{ В}$ быстрые электроны с энергией, превышающей порог ионизации, начинают образовываться непосредственно в слое, и интенсивность ионизации резко возрастает. При $U > 150 \text{ В}$ вклад в ионизацию газа быстрых электронов уже превышает вклад быстрых молекул, а концентрация плазмы в камере и однородность ее распределения заметно повышаются. Однако и в этом случае разряд остается несамостоятельным и перестает погасать при отключении источника пучка лишь при $U > 300 \text{ В}$.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Метель.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПОЛОС В ДУГОВОМ АТОМНО-ЭМИССИОННОМ СПЕКТРЕ

О. В. Пелипасов

Новосибирский государственный технический университет
Институт автоматики и электрометрии СО РАН

В дуговых атомно-эмиссионных спектрах, получаемых с помощью многоканальных анализаторов эмиссионных спектров (МАЭС), наряду с атомарными и ионными линиями элементов таблицы Менделеева присутствуют молекулярные полосы, которые затрудняют измерение интенсивностей аналитических линий, а также проведение операции профилирования (установления соответствия номера фотодиода и длины волны). Идентификация таких полос поможет снизить их негативное влияние на результаты анализа, определять ряд элементов по молекулярным линиям, использовать такие линии для профилирования, а также позволит получить важную информацию о характеристиках плазмы (температура и др.). Введение молекулярных линий в базу данных спектральных линий программы «Атом» позволит автоматизировать процесс их распознавания и использования.

В атомно-эмиссионных спектрах, возбуждаемых дуговым источником в воздушной атмосфере, наблюдаются характерные для каждой двухатомной молекулы полосы, изображенные на рисунке. В атомно-эмиссионном спектре дуги были обнаружены следующие молекулярные полосы: циан (CN), азот (N_2 и N_2^+), гидроксил (OH), кислород (O_2). Для использования полученной информации требуется уточнение длин волн кантов до 10^{-3} нм и нахождение длин волн всех колебательных или вращательных линий в полосе.



Научный руководитель – д-р техн. наук В. А. Лабусов.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ИСТОЧНИК ИОНОВ ДЛЯ НЕЙТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ

И. А. Прохоров, Д. В. Кислер
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН ведется разработка нейтронного генератора для нейтронной гамма-спектрометрии. Принцип работы генератора основан на бомбардировке пучком быстрых ионов дейтерия титановой мишени, насыщенной дейтерием. Происходящая $D[d, {}^3\text{He}]n$ термоядерная реакция продуцирует нейтронный поток.

Формирование пучка ионов происходит в ионном источнике. Важной характеристикой источника, влияющей на ресурс работы мишени и поток нейтронов генератора, является содержание молекулярных ионов, которые не участвуют в термоядерной реакции и разрушают мишень.

Данная работа посвящена разработке ионного источника на основе высокочастотного разряда. Преимуществом источника такого типа перед разработанными ранее источниками с накаливаемым катодом является более высокая концентрация полностью ионизованных частиц в разряде.

Высокочастотный ионный источник представляет собой керамическую газоразрядную камеру объемом несколько квадратных сантиметров. Разряд в камере поддерживается индукционным способом с помощью наружной антенны, на которую подается напряжение с частотой 13 МГц. Потребляемая разрядом мощность не превышает 100 Вт.

Экспериментально была получена зависимость плотности тока ионов от поглощаемой мощности для различных конфигураций антенны. Массовый состав был определен методом доплеровской спектроскопии после подключения источника к тестовой ионно-оптической системе. Измеренный состав позволяет прогнозировать увеличение срока службы мишени нейтронного генератора до 5000 часов.

На основе разработанного высокочастотного ионного источника будет создан нейтронный генератор с увеличенным ресурсом работы. Областью применения такого нейтронного генератора станут сканирующие системы безопасности для досмотра багажа и грузов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. В. Шиховцев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИИ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ НАГРЕВЕ ПЛАЗМЫ НА УСТАНОВКЕ ГОЛ-3

В. Ф. Складов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный технический университет

В данной работе представлены результаты экспериментов, проведённых на установке ГОЛ-3, по регистрации эмиссии субмиллиметрового электромагнитного излучения в диапазоне $250 \div 410$ ГГц. Особенностью режима работы установки в 2010 году является увеличение диаметра электронного пучка с 13 мм до 41 мм с неизменной плотностью тока $j_e \sim 2$ кА/см². При этом типичные параметры эксперимента остались без изменений, а именно плотность плазмы $n \approx 10^{20} \div 10^{21}$ м⁻³, энергия электронного пучка $T_e \sim 0,8$ МэВ, I_e – до 30 кА, длительность пучка $\tau \sim 12$ мкс, энергосодержание $Q \sim 130$ кДж.

Для регистрации электромагнитного излучения использована многоканальная субмиллиметровая радиометрическая квазиоптическая диагностика, в которой частотное разделение каналов обеспечивается при помощи полосовых сеточных интерференционных фильтров с шириной полосы пропускания $30 \div 50$ ГГц, а регистрация излучения – быстродействующими приёмниками на базе диодов Шоттки.

Важным результатом работы диагностики является непосредственное наблюдение «замывания» резких мелкомасштабных всплесков электромагнитного излучения ($\tau \sim 2 \div 5$ нс), которые наблюдались в экспериментах с «тонким» пучком, до характерных времён $\sim 5 \div 20$ нс. Данное явление связано, по-видимому, с образованием большего количества плазменных каверн в наблюдаемом телесном угле по сравнению с режимом «тонкого» пучка, ввиду увеличения области взаимодействия между пучком и плазмой.

Будут представлены новые результаты по измерению мощности электромагнитного излучения в расширенном диапазоне частот $\sim 50 \div 200$ ГГц (в области, соответствующей плазменной и первым гармоникам циклотронных частот).

Исследования проведены в рамках работ по гранту № 11.G34.31.0033 Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. В. Бурдаков.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ С ВНЕШНИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

Р. О. Хохлов, С. Ю. Суслов

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

В данной работе исследовалось взаимодействие пылевой частицы с внешним электрическим полем с помощью методов Монте-Карло. Ранее было показано, что в условиях, когда длина свободного пробега велика по сравнению радиусом Дебая плазмы, вблизи частицы образуется плотное облако захваченных ионов. Эти ионы экранируют заряд пылевой частицы, так что в эксперименте возможно измерить только разность зарядов пылевой частицы и облака ионов [2].

Для более детального описания взаимодействия пылевой частицы с электрическим полем необходимо учитывать поляризацию системы «пылевая частица – облако захваченных ионов» («квазиатом»).

В основе метода лежит анализ траекторий заряженных частиц в потенциале пылевой частицы и однородного электрического поля. Траектории рассчитываются методом Рунге-Кутты, начальные скорости подчиняются распределению Максвелла. Анализ траекторий частиц позволяет определить потоки частиц на поверхность пылевой частицы, среднее время жизни иона и распределение плотности заряда.

Показано, что наложение внешнего электрического поля вызывает сдвиг ионной оболочки, что приводит к появлению дипольного момента. Исследована зависимость поляризуемости системы от величины внешнего поля.

Так же, в данной работе рассматривался кубический пылевой кристалл. Расчеты траекторий производились в ячейке Вигнера-Зейца. Было показано, что при наложении внешнего поля деформация распределения плотности зарядов имеет сложную форму, однако дипольного момента не возникает.

1. M. Lampe et al. *Phys. Plasmas*. **10**, 1500, (2003).

2. G. I. Sukhinin, A. V. Fedoseev, S. N. Antipov, O. F. Petrov, V. E. Fortov, *Phys. Rev. E*, **79**. 2009.

3. D. Tskhakaya, K. Matyash, R. Schneider, F. Taccogna. *Contrib. Plasma Phys.* **47**, No. 8–9, 563–594. 2007.

4. A. V. Sysun, V. I. Sysun, A. D. Khakhaev and A. S. Shelestov. *Plasma Physics Reports*, Vol. 34, No. 6, pp. 501–507. 2008.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Г. И. Сухинин.

МИКРОПЛАЗМЕННЫЙ ГАЗОРАЗРЯДНЫЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ СЕНСОР

А. Б. Цыганов, А. С. Мустафаев
Санкт-Петербургский государственный горный университет

Традиционные методы электронной спектроскопии (ЭС), основы которых были заложены еще Нобелевскими лауреатами А. Эйнштейном и К. Зигбаном, являются одним из наиболее информативных средств анализа химического строения вещества. Как правило, устройства ЭС работают только в условиях высокого вакуума и включают в себя громоздкие и сложные энергетические анализаторы. По этой причине электронная спектроскопия до сих пор не вышла из стен лабораторий в широкую аналитическую практику, а создание портативных анализаторов не представлялось возможным. В тоже время в газовой хроматографии, средствах контроля газовой среды, в технологических процессах и энергетических установках необходимы миниатюрные газоанализаторы, не требующие вакуума для работы.

Нами для определения состава газовой смеси и детектирования примесей к основному инертному газу создан портативный микроплазменный газоразрядный аналитический сенсор планарной геометрии, в котором анализатором электронов является катод [1]. Для управления системами микроплазменного детектора и построения энергетического спектра характеристических электронов разработаны электронные схемы на базе микроконтроллера ADuC 841 (фирма Analog Device, США) и специализированное программное обеспечение метода.

На данном этапе исследований основное внимание уделено изучению кинетики заряженных частиц в условиях NLPD (Non-Local Plasma Diffusion - диффузия плазмы в нелокальном режиме) в условиях послесвечения. В детекторе, заполненном гелием, получены спектры энергии быстрых электронов, образующихся при парных столкновениях метастабильных атомов и ударах второго рода с электронами. Убедительно продемонстрирована чувствительность сенсора.

Созданный микроплазменный детектор на первом этапе исследований позволил продвинуть границу применимости электронной спектроскопии для химического и элементного анализа до давления смеси порядка 50 Торр. Работа выполнена при поддержке гранта ФЦП «Кадры» (контракт П697).

1. A. B. Tsyganov et all. US Patent 7,309,992 “Gas analysis method and ionisation detector for carrying out said method”, issued December 18, 2007.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Мустафаев.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР ТЕСЛА

И. А. Шестаков

Горно-Алтайский государственный университет

В 2007 году был собран высоковольтный резонансный трансформатор Тесла.

- напряжение питания установки 36 вольт
- напряжение на выходе примерно 300000 вольт

Установка состоит из 3-х этапов преобразования напряжения.

На первом этапе происходит понижение сетевого напряжения с 220 В до 36 В.

На втором этапе при помощи автомобильной катушки зажигания напряжение 36 В трансформируется в примерно 1500 В, которое непосредственно идет на резонансный трансформатор.

Но для работы резонансного трансформатора нужна строго определенная частота, и для того чтобы создать нужную частоту в цепи первичной обмотки трансформатора включен разрядник и конденсатор по схеме последовательного резонансного контура.

Когда в разряднике происходит электрический разряд с потенциалом примерно 1500 В, то генерируется широкий спектр частот переменного напряжения и таким образом автоматически в резонансном контуре резонирует одна из сгенерированных частот, которая и является резонансной для трансформатора.

Вследствие резонанса напряжений на последовательном контуре, в первичной обмотке трансформатора протекает импульс большой мощности, порождающий импульсный скачок электромагнитного поля. В это время во вторичной обмотке трансформатора протекает большая (за счет множества витков вторичной обмотки) ЭДС индукции равная нескольким сотням тысяч вольт.

Но даже столь большое напряжение не является смертельным потому что очень мала сила тока и достаточно высока частота. Как известно, небольшие токи с большими частотами протекают только по поверхности.

Данный трансформатор излучает достаточно сильное переменное электрическое поле, излучение которого может быть заметно на весьма больших расстояниях, и таким образом при помощи данного трансформатора Никола Тесла предположительно мог передавать электроэнергию на довольно большие расстояния по средствам переменного электрического поля.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент А. Ю. Гвоздарев.

РАЗРАБОТКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫХОДА D-D РЕАКЦИЙ И ПОТОКОВ АТОМОВ ПЕРЕЗАРЯДКИ, НА УСТАНОВКЕ ГДЛ

И. В. Щёкин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В Институте ядерной физики имени Г. И. Будкера СО РАН на установке Газодинамическая ловушка (ГДЛ) проводятся эксперименты с инжекцией в мишенную плазму атомов дейтерия с энергией 25 кэВ. Захваченные дейтоны образуют популяцию быстрых ионов, столкновение которых может приводить к выходу D-D реакций. Для изучения поведения этой популяции необходимы измерения аксиального и радиального профилей выхода D-D реакций, а также потоков атомов перезарядки из плазмы. На основе разработанных Институтом физики полупроводников им. А. В. Ржанова PIN-диодов, предназначенных для регистрации заряженных частиц с энергией порядка МэВ, спроектирована и частично изготовлена система датчиков, для измерения продольного профиля потоков термоядерных протонов и подвижный датчик для похордового сканирования радиального профиля их потока вблизи точки останова. Новая системы датчиков, позволит быстрее собирать информацию необходимую для построения пространственного и временного профилей выхода D-D реакций. Также в ИФП разработана новая девятиканальная линейка диодов, предназначенных для регистрации атомов с энергией порядка нескольких кэВ, обладающих сверхтонким мёртвым слоем и режимом лавинного усиления. Спроектирована и частично изготовлена камера обскура, установка которой позволит осуществлять измерение поперечного профиля потоков атомов перезарядки и его временного хода.

Научный руководитель — Е. И. Пинженин.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНОГО АТОМАРНОГО ИНЖЕКТОРА С КОРОТКИМ ПУЧКОВЫМ ТРАКТОМ

Д. В. Яковлев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Для выбора оптимального сценария вывода на расчетные параметры инжектора атомов требуется непрерывное измерение его характеристик. Одним из важных параметров диагностики мощных пучков быстрых атомов является мониторинг состава пучка. Доля молекулярных ионов в области плазменного электрода существенно влияет на формирование пучка с узкой угловой расходимостью.

На начальных этапах испытания мощного атомарного инжектора наблюдается высокое содержание молекулярных ионов, не позволяющее добиться оптимального формирования пучка. Содержание примесей обусловлено загрязнением ионно-оптической системы (ИОС) и стенок плазменной камеры водой и в меньшей степени органическими веществами в процессе изготовления. В ходе дальнейших испытаний происходят интенсивные процессы обезгаживания внутренних поверхностей плазменного эмиттера и ИОС. Состав и форма пучка постепенно выходят на проектные значения. При этом требуются коррекции временного сценария и потока газа, подаваемого в разряд. В противном случае, работа при недостаточном напуске может привести к сильной эрозии элементов генератора плазмы.

В данной работе была предпринята попытка изучения динамики процессов обезгаживания. С помощью спектрометра регистрировалось излучение H_{α} различных энергетических фракций пучка. На основании этих данных определялся состав пучка. Были получены зависимости содержания фракций молекулярных ионов в пучке от времени.

В некоторых современных инжекционных комплексах требуется использовать вакуумный объем с предельно сокращенным пучковым трактом. Это связано с тем, что необходимо инжектировать пучок сквозь входной порт термоядерной установки небольшого диаметра. В таком конструктивном исполнении оптическая диагностика сильно затруднена по причине больших углов наблюдения (порядка 70°) и, соответственно, близкого расположения пиков энергетических фракций в спектре доплеровского излучения.

Для разрешения такого спектра был разработан алгоритм и на его основе создана программа, позволяющая оперативно обрабатывать снятые спектры и получать состав пучка.

Научный руководитель – Н. В. Ступишин.

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК GaAs В МАТРИЦЕ GaP

Д. С. Абрамкин, С. А. Будённый

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время ведутся интенсивные исследования полупроводниковых гетероструктур с квантовыми точками (КТ) первого рода, которые излучают в инфракрасном диапазоне (например, In(Ga)As / GaAs). В то же время системы, излучающие в видимом диапазоне, изучены значительно хуже. Тем не менее, они имеют практическую значимость для создания полупроводниковых лазеров. Предлагаемая нами замена GaAs на более широкозонный полупроводник, например GaP, позволяет сместить излучение КТ в видимую область спектра. Объектом исследования данной работы является напряжённая структура с КТ GaAs в матрице GaP.

На рисунке представлены результаты измерения спектров стационарной фотолуминесценции (ФЛ) в режиме возбуждения в матрицу, выполненные при 5К и различных плотностях мощности возбуждения P . Как видно из рисунка, максимум ФЛ характеризуется энергией 1,82 эВ. Кроме того, при увеличении P наблюдается синее смещение ФЛ, пропорциональное $P^{1/3}$, что указывает на II род зонной структуры исследуемых КТ [1].

В программе Nextnano++ была рассчитана зонная диаграмма напряжённой структуры с GaAs КТ полуэллиптической формы в матрице GaP. Расчёты показали, что структура имеет II род с основным электронным состоянием в X долине GaP. Наилучшее соответствие

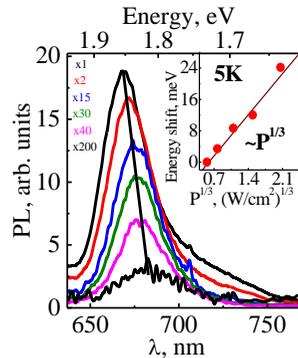


Рис. 1. Спектры стационарной ФЛ напряжённых GaAs/GaP КТ, измеренные при температуре 5К и P (сверху вниз): 25; 8,72; 3,30; 1,30; 0,452; 0,170 Вт/см².

На вставке зависимость положения максимума ФЛ КТ от P .

экспериментальным данным достигается при следующих параметрах КТ: диаметр 20 нм, высота 4 нм.

Таким образом, путём сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными была определена энергетическая структура напряжённых GaAs/GaP КТ.

1. N. N. Ledentsov et al., Phys. Rev. B 52, 14058 (1995).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Т. С. Шамирзаев.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ПЛЕНОК $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ПО СПЕКТРАМ ЭЛЛИПСОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

И. А. Азаров

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН,
г. Новосибирск

В настоящее время в области полупроводниковой техники получили широкое распространение многокомпонентные соединения. Свойства таких материалов имеют выраженную зависимость от состава, поэтому актуальной задачей является его определение с высокой точностью.

В данной работе исследуется возможность определения состава соединения кадмий-цинк-теллур (КЦТ) методом эллипсометрии. Метод эллипсометрии выбран, как наиболее перспективный для определения состава в процессе роста пленок. Метод является бесконтактным, неразрушающим и применяется на вакуумных ростовых установках.

Пленки КЦТ выращиваются методом молекулярно лучевой эпитаксии, как согласующий буферный слой для фоточувствительных слоев на основе тройного соединения кадмий-ртуть-теллур. Для создания структур требуемого совершенства, необходимо хорошее согласование параметров решеток подложки или буферного слоя и функционального слоя, что накладывает высокие требования к точности определения состава ~ 0.005 .

Анализ спектров показал, что наиболее информативными являются участки спектра вблизи критических точек E_0 , E_1 и $E_1 + \Delta_1$, наблюдаемые в исследуемой области спектра (250–1000 нм). Испытаны различные методы определения состава, основанные на изменениях спектра вблизи этих точек. Установлено, что наибольшую чувствительность к составу имеет край фундаментального поглощения. Определение состава по положению E_0 , затруднено наличием интерференционных осцилляций. В работе предложена параметрическая модель оптических констант, с помощью которой решена задача определения состава и толщины по результатам измерений *ex situ* при комнатной температуре. Точность определения толщины составила 2 нм, а состава – 0.0025, что удовлетворяет технологическим требованиям. Таким образом, предложенный метод показал свою состоятельность и перспективность для применения в условиях роста (*in situ*).

Для применения метода *in situ* разрабатывается параметрическая модель оптических констант, чтобы описать зависимость от состава и температуры. Это позволит проводить контроль состава во время роста. Наличие переходного слоя и нестабильности условий роста осложняют задачу определения дисперсионных зависимостей. Ведётся работа по оптимизации алгоритма решения обратной задачи эллипсометрии.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. А. Швец.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФТОРА НА ХИМИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА InAs / АНОДНЫЙ ОКИСЕЛ

М. С. Аксенов, В. А. Голяшов

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Структура металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) на основе InAs используется для создания многоэлементных приемников инфракрасного диапазона. Электронные процессы на границе раздела диэлектрик-полупроводник определяют основные приборные характеристики МДП-структур. Одним из основных требований к границе раздела является низкая плотность поверхностных состояний (ПС) и отсутствие закрепления уровня Ферми. В связи с этим, актуальным является изучение взаимосвязи между структурным, химическим строением границы раздела и электрофизическими характеристиками МДП-структур.

Для изготовления МДП-структур использовались эпитаксиальные пленки InAs(111)А. Оксидные слои выращивались в кислотном электролите. Для анализа химического состава и морфологии оксидных пленок использовался метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и атомно-силовой микроскопии. Для изучения распределения состава по толщине оксидной пленки проводилось травление ионами аргона, с последующим измерением состава методом РФЭС. Плотность ПС и их энергетическое распределение в запрещенной зоне определялось из вольт-фарадных (С-V) измерений.

Анализ методом РФЭС показал, что химический состав анодного оксида (АО) сильно изменяется при добавлении NH_4F : происходит вытеснение кислорода фтором с границы АО / InAs, о чем говорит резкое убывание интенсивности линии кислорода O1s и наличие максимума в распределении фтора на границе с InAs. Анализ вольт-фарадных характеристик показал, что электрофизические параметры структур сильно зависят от концентрации фторирующего реагента NH_4F в электролите. Добавление небольшого количества NH_4F (2.5 г/л) резко улучшает качество границы раздела, уменьшая плотность ПС и встроенный в АО заряд, что является следствием изменения химического состава границы раздела. Минимальные значения плотностей ПС составили $N_{ss} = 5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ и $N_{ss} = 5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ для структур с АО, выращенном в кислотном растворе без добавления фтора и с добавлением фтора, соответственно. Фторирование АО так же приводило к уменьшению в 10 раз встроенного заряда до величины $Q_i = 2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$. В работе обсуждается модель, объясняющая причину уменьшения плотности ПС, центров захвата в переходном слое и связь с химическим строением АО.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук О. Е. Терещенко.

ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕТЕРОСТРУКТУР $p\text{-Si-n}(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaN})_x$

З. К. Аллярова

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

Методом жидкофазной эпитаксии из оловянного раствора-расплава были выращены твердые растворы замещения $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaN})_x$ электронного типа проводимости на монокристаллических $p\text{Si}$ подложках.

Были исследованы темновые вольт-амперные характеристики (ВАХ) полученных гетероструктур $p\text{-Si-n}(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaN})_x$ (рис.). Структура имеет выпрямляющие свойства. Исследование показывает, что прямую ветвь

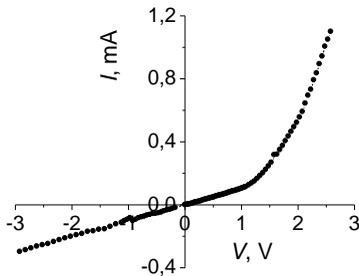


Рис. Темновая вольт-амперная характеристика гетероструктур $p\text{-Si-n}(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaN})_x$ при комнатной температуре.

ВАХ можно разделить на несколько участков. В начальном участке, когда подаваемое напряжение слабое - от нуля до 0.08 В наблюдается омический закон прохождения тока — $I = 13.8 V$. Далее с ростом напряжения до 0.2 В имеет место экспоненциальная зависимость тока по напряжению — $I = I_0 \cdot \exp(qV/ckT)$, с показателем экспоненты $c = 3,2$. С ростом напряжения от 0.2 до 1.1 В опять следует омический участок — $I \approx V$. Появление второго омического участка можно объяснить модуляцией объемного заряда центрами прилипания в высокоомной базе $n\text{-}(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaN})_x$ твердого раствора. За омическим участком в интервале напряжения от 1.2 до 2.5 В имеется степенная зависимость тока — $I = A \cdot V^m$, со значением степени $m = 2.7$. Такая смена зависимости, возможно обусловлен тем, что при напряжениях более 1.2 В инжектированные неравновесные носители полностью заполняют центров прилипания и в дальнейшем происходит модуляция объемного заряда глубокими рекомбинационными центрами в базе $n\text{-}(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaN})_x$ и в дрейфовом режиме диэлектрической релаксации объемного заряда наблюдается степенная зависимость со степенью близкой к кубическому закону $m = 2.7$.

Научные руководители — д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Саидов, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Ш. Н. Усмонов.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ $pSi-n(Si_2)_{1-x-y}(Ge)_x(ZnSe)_y$ СТРУКТУР

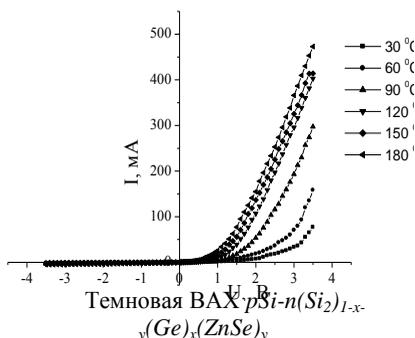
К. А. Амонов

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

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований ВАХ $pSi-n(Si_2)_{1-x-y}(Ge)_x(ZnSe)_y$ структур при различных температурах. Структуры создавались методом жидкофазной эпитаксии из ограниченного объема оловянного раствора-расплава состава Sn-Si-Ge-ZnSe по технологии, описанной в работе [1]. Эпитаксиальные слои $n(Si_2)_{1-x-y}(Ge)_x(ZnSe)_y$ выращенные на pSi подложках с ориентацией (111) имели толщину 20 мкм. На рис.1 представлена темновая ВАХ $pSi-n(Si_2)_{1-x-y}(Ge)_x(ZnSe)_y$ структур при различных температурах. Из рисунка видно, что зависимость темнового тока от напряжения имеет выпрямляющие свойства. Начальный участок ВАХ (до 0,4 В) хорошо аппроксимируется известной зависимостью В. И. Стафеева [2]:

$$I = I_0 e^{\frac{qU}{ckT}}, \quad (1)$$

где показатель экспоненты c , вычисленный из ВАХ, имеет значение $\sim 5,9$. Следовательно р- n -переход имеет достаточно длинную базу ($c > 2$). За экспоненциальной зависимостью в интервале напряжений от 0.5 до 3.5 В для всех температур от 30 до 180 °С ВАХ подчиняется степенному закону вида $I \approx U^m$ с разными значениями m . В таблице показаны значения степени m от температуры T °С.



T, °C	30	60	90	120	150	180
m	3.3	3.2	3.3	3.2	2.7	2.4

1. Saidov A. S., Razzakov A. Sh., Risaeva V. A., Koschanov E. A. Materials chemistry and physics. 2001, Vol. 68, p.1-6.

2. Стафеев В. И. ЖТФ, 28(9), 1631 (1958).

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Саидов, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Ш. Н. Усмонов.

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ОБЛУЧЕНИЯ И ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА НА ВАЛЕНТНОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИМЕСНЫХ ЦЕНТРОВ ХРОМА В СИНТЕТИЧЕСКОМ ФОРСТЕРИТЕ. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ЭПР-СПЕКТРОСКОПИИ

Д. А. Ахметзянов^{1,2}, В. Б. Дудникова³, Е. В. Жариков^{4,5},
А. А. Коновалов¹, В. Ф. Тарасов¹

¹ Казанский физико-технический институт
им. Е. К. Завойского КазНЦ РАН

² Казанский (Приволжский) федеральный университет

³ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

⁴ Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,
г. Москва

⁵ Институт общей физики им. А. Н. Прохорова РАН, г. Москва

Большой интерес к форстериту легированному хромом, возник около двадцати лет назад, когда на ионах Cr^{4+} была получена лазерная генерация в ближнем ИК-диапазоне [1]. Но помимо ионов Cr^{4+} в матрице форстерита представлены ионы Cr^{2+} и Cr^{3+} которые сказываются негативно на параметрах хром-форстеритовых лазеров. Поэтому методы увеличения концентрации Cr^{4+} и уменьшения Cr^{2+} и Cr^{3+} представляет интерес с точки зрения увеличения эффективности данных лазеров.

Целью работы является исследование методом ЭПР спектроскопии зависимости концентрации центров Cr^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{4+} в синтетическом форстерите от парциального давления кислорода в атмосфере роста. А также влияния ионизирующего облучения на валентное состояние примесных центров.

Исследовались монокристаллы форстерита, легированные хромом или хромом и литием, выращенные при парциальном давлении кислорода, которое изменялось в диапазоне 0.03–12 кПа. Два образца были облучены электронами с энергиями 21 МэВ, а образец легированный хромом и литием был облучен гамма квантами с дозами 10^5 , 10^6 и 10^7 рад.

Было установлено, что под действием ионизирующего облучения в структуре форстерита образуются новые центры. Обсуждается структура данных центров. Увеличение парциального давления кислорода в атмосфере роста приводит к уменьшению коэффициента распределения хрома между расплавом и образцом.

1. Petricevic V., Gayen S. K., Alfano R. R. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. I. 26, P. 2590.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Ф. Тарасов.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГАЛОГЕНОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ $\beta 3'$ -InAs(001)-(4×2)

А. В. Бакулин¹, С. В. Еремеев¹, О. Е. Терещенко², С. Е. Кулькова¹
¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск
² Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН,
г. Новосибирск

Атомно-слоевое травление полупроводников III-V группы реализуется подбором адсорбатов, которые селективно взаимодействуют с анионами или катионами. Поскольку полупроводники InAs и GaAs имеют схожие химические свойства, предполагалось, что стабильные (4×2) реконструкции должны быть одинаковыми для этих полупроводников. Ранее нами была изучена адсорбция хлора на ζ -(4×2)-реконструкции. Было продемонстрировано, что хлор предпочитает образовывать связь с индием (галлием) в вершинных позициях над атомами димера. Недавно в работе [1] на основе экспериментальных исследований была предложена новая реконструкция $\beta 3'$ -(4×2) для InAs(001), которая имеет два димера индия на нижней террасе и недимеризованные атомы индия в верхнем атомном

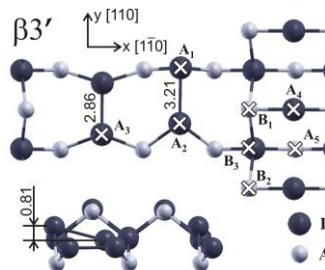


Рис. 1. Атомная структура поверхности $\beta 3'$ -InAs(001)-(4×2)

слое. В настоящей работе проведено первопринципное изучение атомной и электронной структуры $\beta 3'$ -InAs(001)-(4×2) реконструкции и ее взаимодействия с галогенами (хлором и фтором). Выполненные нами расчеты показали, что теоретическая равновесная структура (рис. 1) имеет сильно деформированный димер на нижней террасе, как и в работе [1]. В то же время энергия данной реконструкции лишь на 20 мэВ / (1×1) выше по сравнению с ζ -(4×2) реконструкцией. Обсуждаются изменения атомной и электронной структуры в зависимости от позиции адсорбции на поверхности. Анализ электронных характеристик позволил вскрыть механизмы связи галогенов на In-стабилизированной поверхности InAs(001). Показано, что независимо от реконструкции InAs-(4×2) поверхности галогены предпочитают адсорбироваться в позициях вблизи атомов индия.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 09-02-01045а) и междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН (№ 99).

1. D. L. Feldwinn, J. B. Clemens, J. Shen et. al., Anomalous hybridization in the In-rich InAs(001) reconstruction, Surf. Sci. B603, 3321-3328 (2009).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. Е. Кулькова.

ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОКРИСТАЛЛОВ CdS, СФОРМИРОВАННЫХ В ПЛЁНКАХ ЛЕНГМЮРА-БЛОДЖЕТТ

С. А. Бацанов, А. К. Гутаковский
Новосибирский государственный университет
Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Сульфид кадмия является перспективным материалом для создания светоизлучающих приборов оптоэлектроники. Его оптические свойства существенно изменяются при переходе из крупнокристаллического состояния в наноструктурированное [1]. При этом частота люминесцентного излучения зависит от размеров и кристаллической структуры частиц, которые в свою очередь определяются условиями формирования нанокристаллов. Целью настоящей работы было исследование с помощью высокоразрешающей электронной микроскопии (ВРЭМ) морфологии и кристаллической структуры кристаллов CdS, образующихся при сульфидировании плёнок бегенатов кадмия, полученных по методу Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ). Исследования проведены на электронных микроскопах JEM-4000EX и JEM-2200FS. Анализировались пленки ЛБ, осажденные на углеродных подложках, непосредственно после сульфидирования и после термического отжига в вакууме и атмосфере аммиака при температурах 200–250 °С. Кроме этого, решалась задача по определению оптимальных условий визуализации нанокристаллических частиц в аморфной матрице путём численного моделирования ВРЭМ изображений. Моделирование проводилось мультислоевым методом с использованием пакета программ «MUSLI». Варьировалась толщина аморфной матрицы, размер и кристаллографическая ориентация нанокристаллов CdS.

Из анализа картин микродифракции и ВРЭМ изображений установлено, что формируются кристаллиты, имеющие преимущественно кубическую структуру, форма которых близка к сферической. Построены гистограммы распределения нанокристаллов по размеру. Размер кристаллитов варьируется в диапазоне 2–16 нм и зависит, как от толщины плёнки ЛБ, так и от температуры отжига. С увеличением толщины плёнки Ленгмюра-Блоджетт средний размер кристаллитов увеличивается от 4 до 8 нм для неотожжённых образцов, и от 5 до 12 нм для отожжённых при температуре 200 °С.

1. Гусев А. И., Ремпель А. А. Нанокристаллические материалы // М.: Физматлит, 2000.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. К. Гутаковский.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПИРОКОЭФФИЦИЕНТА С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ «СЭНДВИЧ»-СТРУКТУРЫ

А. А. Бушманова

Амурский государственный университет, г. Благовещенск

«Сэндвич»-структура предложена для определения пирокоэффициента в облученных электронами кристаллах триглицинсульфата. Возникновение пироэффекта в облученном электронами сегнетоэлектрическом кристалле можно объяснить двумя факторами. Первый из них проявляется в образовании деформированного слоя на стороне кристалла, подвергнутой облучению. В частности изменяется коэффициент тепловой диффузии. Второй фактор заключается в изменении свойств слоя, находящегося за облученным. При освещении кристалла с необлученной стороны этот слой имеет то же значение тепловой диффузии, которое имеет необлученный кристалл. При освещении кристалла с облученной стороны необлученный слой меняет данную характеристику.

Для учета действия вышеперечисленных факторов можно использовать модель «сэндвич»-структуры, которая применяется для исследования материалов в системе пленка-подложка. В представлении математической модели уравнения теплопроводности в одномерном случае учитывают различные коэффициенты тепловой диффузии [1]. Решая эти уравнения в определенных граничных условиях, учитывающих различные коэффициенты теплопроводности слоев, получаем распределение температуры в облученном слое. С учетом данного распределения можно смоделировать пироотклик, решая уравнение для средней по толщине образца величины пиротока в условиях прямоугольной модуляции теплового потока. Вывод формулы для расчета координатной зависимости эффективного значения пирокоэффициента аналогичен проведенному в работе [2], однако при этом учитывается полученное распределение температуры по толщине облученного слоя.

1. Малышкина О. В. Применение метода TSW для исследования профиля поляризации в пленочных сегнетоэлектриках/ О.В. Малышкина//ФТТ.-20010.-том 52.-выпуск 4.

2. Малышкина О. В., Мовчиков А. А. Новый метод определения координатных зависимостей пиротока в сегнетоэлектрических материалах // ФТТ. 2007. Том 49. Выпуск 11.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент, И.Б. Копылова.

ТЕПЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ СВЕТОДИОДНЫХ МАТРИЦ

М. В. Воропаев, Ю. А. Хотненко

ОАО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов»
Томский государственный университет

В настоящее время наметилась тенденция перехода на энергосберегающие источники освещения. Уже с начала 2011 года перестали выпускаться лампы накаливания от 100 Вт. На смену лампам накаливания приходят галогенные лампы, люминесцентные лампы, ртутные лампы высокого давления, светоизлучающие диоды и т.д.

В отличие от всех источников освещения, светодиод имеет большую светоотдачу и больший срок службы. Если рассматривать светодиодную матрицу, то в некоторых областях применения, она имеет преимущество в отличие от ламп, собранных из обычных светодиодов. В ноябре 2009г. у главного входа ОАО НИИПП были установлены светильники из светодиодных матриц, которые работают, безотказно по сей день.

Световую эффективность светодиода можно повысить за счёт установления линзы, отражателей, нанесения более эффективного люминофора и уменьшения температуры в активной области кристалла. С ростом температуры у светодиодов уменьшается интенсивность излучения [1]. В данной работе проводились измерения теплового сопротивления светодиодных матриц. Методика измерений тепловых сопротивлений основана на тепловых свойствах р-п перехода [1]. Разработана методика определения теплопроводности диэлектрических слоёв на металлической подложке, используя эффект растекания теплового потока. Проведён расчёт температурных полей в программе ANSYS[2].

На сегодняшний день светодиодные матрицы нашего производства имеют светоотдачу (при рабочем токе) 60–70 Лм/Вт, при цветовой температуре 4000–6000 К. Планируется улучшить светоотдачу матриц до 100–110 Лм/Вт, в частности, за счёт уменьшения температуры в активной области кристалла благодаря улучшению теплоотвода.

1. Шуберт Ф. Светодиоды: Пер. с англ. 2-е изд. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2008.- 496с.

2. Каплун А. Б., Морозова Е. М. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272с.

Научный руководитель – Д. Д. Каримбаев.

О МЕХАНИЗМЕ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОАКТИВНЫХ ДЕФЕКТОВ В КРЕМНИИ

Б. Ш. Гаипов

Самаркандский государственный университет им. А. Навои

Целью настоящих исследований было выяснить возможность образования химически связанных комплексов, уточнить их структуру, зарядовое состояние, стабильность, а также влияние их на деградацию свойств кремния. Первоначально для этой цели была выбрана пара элементов, имеющих в природе химическое соединение. Выбор пал на серу и цинк, отличающихся исключительно донорной природой в объеме Кремния. известно, что сера вносит в запрещенную зону кремния ряд донорных состояний с энергией E_c -0.1; 0.18; 0.27; 0.37; 0.50; 0.62 эВ, а цинк E_c -0.24; 0.53 эВ. Для исследований были изготовлены образцы кремния как одновременно, так и последовательно легированные серой и цинком. В качестве исходного материала использовались образцы монокристаллического кремния марки КДБ с удельным сопротивлением при комнатной температуре $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

При последовательном легировании образцы предварительно легировали серой при $T = 1250 \text{ }^\circ\text{C}$, после чего в эти же образцы в интервале температур $1000\text{--}1250^\circ\text{C}$ диффундировался цинк. Для учета влияния повторного термоотжига и сравнения электрических параметров отжигались также контрольные образцы $\text{Si}\langle\text{B},\text{S}\rangle$, $\text{Si}\langle\text{B},\text{Zn}\rangle$.

Полученные результаты показывает, что в процессе последующих термоотжигов (ТО) в интервале температур $150\text{--}1100 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 1 часа образцы практически не меняют свои электрические параметры. Только начиная с $T > 1100^\circ\text{C}$ наблюдается рост ρ , а дальнейший рост T приводит к распадению контрольных образцов $\text{Si}\langle\text{B},\text{Zn}\rangle$ заметный распад начинается при $150 \text{ }^\circ\text{C}$, а при $300 \text{ }^\circ\text{C}$ материал приобретает исходные электрические параметры. В контрольных же образцах $\text{Si}\langle\text{B},\text{S}\rangle$ этот процесс происходит в интервале температур $750\text{--}900 \text{ }^\circ\text{C}$., а при $T > 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ наблюдается снова рост ρ образцов $\text{Si}\langle\text{B},\text{S}\rangle$ $T > 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ они вновь меняют тип проводимости n-тип последующей убылью ρ . Такое поведение контрольных образцов объясняется повторной активацией серы и цинка, причем активная часть серы составляет 80% и цинка 20% от равновесной концентрации этих примесей при соответствующих температурах. Действительно, устойчивость параметров образцов $\text{Si}\langle\text{B},\text{S},\text{Zn}\rangle$ при различных ТО до $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ объясняется устойчивости комплексов серы и цинка в кремнии.

Здесь следует отметить, что столь высокая стабильность комплексов серы и цинка свидетельствует также в пользу того, что они между собой химически связаны.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук, доцент Т. У. Тошбоев, канд. физ.-мат. наук, доцент С. К. Ахоров.

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРЕМНЕВЫХ ПЛАСТИН МЕТОДОМ ОБЪЕМНОГО ГЕТТЕРИРОВАНИЯ

Б. Ш. Гаипов

Самаркандский государственный университет им. А. Навои

В процессе изготовления, когда кристалл подвергается термоотжигу, быстродиффундирующие примеси (БДП), участвуя в образовании различных термодефектов, значительно ухудшают параметры готовых приборов [1]. Предлагаемый нами способ позволяет повысить эффективность нейтрализации быстродиффундирующих примесей (БДП) в кремнии путем селективного связывания в электронейтральные химически связанные комплексы по всему объему кристалла. Это достигается тем, что при обработке кремния, вводится образец кремния примесь, образующая при последующем отжиге с БДП электронейтральные комплексы, в качестве примеси используют серу, которую вводят методом диффузии до определенной растворимости. Термоотжиг проводят при температурах 780–800 °С, 800–820 °С, и, соответственно, для нейтрализации кобальта, никеля, цинка и кадмия в течение 30–60 минут. Известен способ нейтрализации неконтролируемых быстродиффундирующих примесных атомов в кремнии путем геттерирования их из объема кристалла с помощью специального геттерного слоя, нанесенного на поверхность пластин. Эффективность геттерирования по данному способу низка, так как неактивная поверхность удалена от активной области полупроводникового устройства на достаточно большое расстояние, а эффективность геттерирования снижается по мере удаления от геттерного слоя. А также, этот способ легирования обеспечивает однородное легирование кремния серой по всему объему кристалла. В связи с этим, данный способ обеспечивает однородную нейтрализацию БДП по всему объему кристалла, кроме того условия образования химически связанных комплексов серы с каждым из БДП различны, поэтому способ обеспечивает селективную нейтрализацию БДП. Поэтому представляет большой практический интерес использование полученных новых экспериментальных результатов в процессе изготовления полупроводниковых приборов и солнечных элементов. Преимуществом этого способа является возможность термостабилизации параметров кремния при условии сохранения однородности кристаллической решетки. Недостатком способа является узость интервала термостойкости кремния из-за интенсивного распада твердого раствора кремний-сера при $T > 750$ °С.

1. М. К. Бахадырханов и др. Некоторые особенности взаимодействия серы с медью в кремнии. Изв. РАН «Неорганические материалы». 1992. Т.28.№8. с.1606–1608.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук, доцент Т. У. Тошбоев, канд. физ.-мат. наук, доцент С. К. Ахроров.

ТЕОРИЯ ИНВЕРСНОГО МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ УСТРОЙСТВ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Т. А. Галкина

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Инверсный (обратный) магнитоэлектрический (МЭ) эффект интересен с практической точки зрения, т.к. на его основе можно создать преобразователь напряжения, имеющий одну обмотку [1].

Для создания такого преобразователя в работе рассматривается теория инверсного магнитоэлектрического эффекта в области электромеханического резонанса на примере тонкого диска из композиционного феррит - пьезоэлектрического материала радиуса R и толщиной d , на нижней и верхней поверхности которого нанесены тонкие металлические контакты, а на боковые поверхности намотана катушка индуктивности, содержащая N витков.

При продольном эффекте (постоянное магнитное поле направлено параллельно поляризации образца), полагая, что все падение напряжения происходит на измерительном вольтметре, а напряженность электрического поля в образце связана с входным напряжением соотношением $E_3 = -V_{in}/d$, для коэффициента трансформации напряжения получим выражение [2]:

$$k_L = \omega N \frac{\pi R^2}{d} \alpha_{B,L}. \quad (1)$$

При поперечной ориентации полей при определении ЭДС индукции, возникающей в катушке, ограничимся случаем, когда толщина катушки t меньше радиуса диска R . В этом приближении можно считать, что коэффициент трансформации напряжения равен [2]:

$$k_T = \omega N \cdot 2R \cdot \alpha_{B,T}. \quad (2)$$

Таким образом, указанная структура может использоваться в качестве преобразователя напряжения имеющего, в отличие от традиционного, всего одну обмотку.

1. Магнитоэлектрический преобразователь напряжения. Патент на полезную модель № 99246 от 10.11.2010г., приоритет от 21.06.2010г. Авторы: Д. А. Филиппов, Т. А. Галкина. Патентообладатель – Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого.

2. Т. А. Galkina, Т. О. Firsova. IEEE 2nd Russia school and seminar MNST'2010.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Д. А. Филиппов.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОГЕНИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР $Cd_xHg_{1-x}Te$

М. О. Гарифуллин

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Процесс гидрогенизации полупроводников (внедрение атомов водорода в кристаллическую решетку) – широко известен и применяется в производстве приборов. Водород, попадая в полупроводник, способен нейтрализовать электрическую активность различных дефектов.

Кроме этого, изучение природы взаимодействия водорода с решеткой КРТ необходимо по той причине, что в производстве фотодиодов присутствуют технологические процессы, при которых появление атомов водорода в полупроводнике неизбежно. К таким процессам можно отнести химическую обработку в водных растворах и сухое травление (плазменное, плазмо-химическое) структур на основе КРТ.

В работе проводилась гидрогенизация эпитаксиальных структур КРТ с помощью кипячения в деионизированной воде. Выяснилось, что кипячение приводит к возникновению в образце акцепторов. При кипячении исходно р-типа наблюдается увеличение концентрации дырок, при кипячении n-типа происходит смена типа проводимости. Было установлено, что у поверхности образцов, кипяченных в деионизированной воде, есть тонкий слой с высокой концентрацией дырок до 10^{19} см^{-3} , при увеличении глубины концентрация резко уменьшается, и выходит на почти постоянный (с малым градиентом) уровень $\sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Дополнительный отжиг приводит к выравниванию концентрации дырок по всей толщине пенки.

Предполагается, что акцепторами являются атомы водорода, проникающие в КРТ при кипячении. Полученные профили концентрации носителей заряда позволяют предположить два механизма диффузии атомов водорода в объем материала: медленный (водород в подрешетке металла) и быстрый (диффузия водорода по междоузлиям, окруженным атомами кадмия).

Измерения зависимости времени жизни неосновных носителей заряда от температуры в гидрогенизированных образцах р-типа показали, что рекомбинация в них определяется преимущественно механизмом Оже. Это свидетельствует об отсутствии рекомбинационных центров Шокли-Рида.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. С. Варавин.

ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА $\text{HfO}_2/\text{GaAs}(001)$ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ СЛОЕМ Si

В. А. Голяшов, М. С. Аксенов

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Использование арсенида галлия в полупроводниковых приборах представляет значительный интерес из-за его высокой подвижности электронов ($\sim 8500 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$) и высокого темпа излучательной рекомбинации. Однако использование GaAs ограничено по причине неудовлетворительных электрофизических свойств границы раздела GaAs/оксид вследствие наличия переходного слоя сложного химического состава и строения, который приводит к высокой плотности поверхностных состояний и центров захвата заряда и, как следствие, к закреплению уровня Ферми. Одним из решений данной проблемы является создание пассивированной границы раздела GaAs / диэлектрик с высокой диэлектрической проницаемостью (high- k диэлектрик), например HfO_2 , на данный момент активно используемый в качестве замены SiO_2 в рамках 45- и 32- нм технологических процессов на кремнии. Также известно, что формирование на границе раздела GaAs / диэлектрик тонкого (5–6 монослоев) псевдоморфного слоя кремния приводит к значительному уменьшению плотности поверхностных состояний. Это позволяет сделать предположение, что создание границы раздела GaAs/ HfO_2 с использованием промежуточного слоя Si позволит создать структуры с низкой плотностью ПС.

В работе изучались пленки HfO_2 , полученные методом электронно-лучевого распыления Hf/ HfO_2 на поверхность арсенида галлия, покрытую собственными оксидами, и поверхность GaAs, пассивированную Si. Был изучен химический состав и морфология полученных пленок с помощью методов РФЭС и АСМ. Показано, что нанесение Hf на окисленную поверхность GaAs при температуре $\sim 300 \text{ }^\circ\text{C}$ приводит к полному восстановлению собственных оксидов Ga и As, формированию резкой и атомно-гладкой границы раздела GaAs/ HfO_2 . Установлено влияние температуры подложки на структуру HfO_2 как при нанесении гафния, так и при последующих отжигах: при температуре подложки выше $300 \text{ }^\circ\text{C}$ РФЭС-спектры линий гафния и кислорода сдвигаются в большие энергии связи, что может говорить о появлении кристаллической фазы HfO_2 . В работе обсуждается взаимосвязь структурных и электрофизических характеристик полученных структур.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент О. Е. Терещенко.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ГЕТЕРОСТРУКТУР КРТ С ОДИНОЧНОЙ КВАНТОВОЙ ЯМОЙ

Д. И. Горн, А. В. Войцеховский, И. И. Ижнин
Томский государственный университет
НПП «Карат», г. Львов, Украина

Уже долгое время во всём мире ведутся научные исследования, имеющие целью развитие фундаментальных и технологических основ применения полупроводниковых наноструктур в электронике. Среди различных направлений применения подобных структур особое место занимает инфракрасная (ИК) оптоэлектроника, осваивающая практически значимые диапазоны длин волн 3—5 мкм и 8—14 мкм. Прогресс в этой области часто связывают с развитием наноструктур на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ), а именно со структурами, включающими квантовые ямы и сверхрешетки [1].

В настоящей работе проводились теоретические и экспериментальные исследования фотолюминесценции наногетероструктуры на основе КРТ с одиночной квантовой ямой толщиной 12,5 нм. Измерения спектров люминесценции при температуре жидкого азота показали наличие как минимум трёх пиков излучения, связанных, как мы полагаем, с межзонными переходами в квантовой яме. При этом ранее в данной структуре нам удавалось пронаблюдать только два пика [2].

Также были проведены теоретические оценки положения пиков люминесценции для данной структуры, основанные на расчёте уровней размерного квантования в яме. Теоретическое моделирование проводилось с применением метода огибающей волновой функции.

В дальнейшем планируется расширение спектрального диапазона в эксперименте с целью получения наиболее полной картины наблюдения фотолюминесценции, а также более детальный расчёт спектра с применением модели Кейна.

1. A. M. de Paula, C. R. M. de Oliveira. Interband and intersubband absorption in $HgCdTe$ multiple quantum wells // *Physical Review B*, vol. 59, num. 15 (1999), 10158—10164.

2. A. V. Voitsekhovskii, D. I. Gorn, S. N. Nsmelov, A. P. Kokhanenko. Energy-band diagrams and capacity-voltage characteristic of $Cd_xHg_{1-x}Te$ -based variband structures calculated with taking into account the dependence of electron affinity on a composition // *Opto-Electronics Review* 18(3), 2010, 241—245.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. В. Войцеховский.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР ZnO, ПОЛУЧЕННЫХ ОКИСЛЕНИЕМ ПЛЕНОК ЦИНКА

И. Е. Демин

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского

В последние годы сильно возрос интерес к наноструктурам и наноматериалам благодаря их уникальным электронным, оптическим и механическим свойствам, отличным от свойств соответствующих объемных материалов. Он обусловлен в первую очередь возможностью использования данных материалов в нанoeлектронике, нанооптике и наносенсорике. Среди этих материалов выгодно выделяется оксид цинка. Он имеет ряд уникальных свойств, которые определяют его применимость в качестве световодов, прозрачных проводящих покрытий, акустооптических сред и активной среды в устройствах на поверхностных акустических волнах. Кроме того, для оксида цинка возможна самосборка наноразмерных стержневидных структур. Использование новых морфологий оксида цинка позволяет создавать на его основе более эффективные устройства: излучатели с малой работой выхода, газовые сенсоры с сильно развитой поверхностью и многое другое. Исследования последних лет были направлены на изучение механизмов, влияющих на геометрические характеристики получаемых наностержней оксида цинка.

В данной работе исследованы характеристики наностержней оксида цинка, полученных методом термического окисления пленок цинка. Пленки цинка были сформированы на ситалловых подложках методом вакуумного термического напыления. Толщина пленок составила порядка 10 микрон. Окисление пленок цинка проведено на воздухе в цилиндрической резистивной печи при температурах в интервале 350–850 °С в течение времени, достаточном для полного окисления пленок. Выбор данного метода обусловлен его технологичностью, обеспечивающей перспективу быстрого внедрения. После получения наноструктур оксида цинка проведено их исследование с помощью рентгеновского дифрактометра и электронного микроскопа. С помощью СЭМ снимков исследована морфология полученных продуктов. По дифрактограммам определены зависимости размеров кристаллитов и доли вещества, кристаллизующегося в направлении оси С, от температуры. Размер кристаллитов составил 12–22 нм при различных температурах, а ориентированность вдоль оси С оказалась в 2–18 раз выше, чем для стандартного порошкообразного образца. (Стандартные данные взяты из таблиц JCPDS.)

С помощью полученных зависимостей выявлены температурные диапазоны, в которых указанные величины одновременно имеют экстремумы. В одном из температурных диапазонов обе величины

оказались максимальными. Наностержни, получаемые в этом диапазоне температур, вырастают наиболее длинными, тонкими и имеющими максимальный размер кристаллитов. Полученные характеристики позволяют использовать их в качестве УФ излучателей. Также обнаружена другая, более низкая особая температура, при которой размер кристаллитов наностержней имеет минимум, а отношение длины к диаметру – максимум. Наноструктурированные пленки оксида цинка с такими характеристиками могут найти применение в газовой сенсорике.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. И. Блинов.

ХОЛОДНАЯ ЭМИССИЯ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЭЛЛИПСОИДА

Д. С. Евстигнеев

Кыргызско-Российский славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

Целью работы является теоретическая оценка возможности применения холодной эмиссии [1] (автоэмиссии) для электросепарации смеси аэрозолей. Автоэмиссия – квантовое туннелирование электронов из металла во внешнем электростатическом поле. Металлические частицы моделируются удлинёнными эллипсоидами.

Уединённый металлический эллипсоид помещён во внешнее однородное электростатическое поле напряжённости \vec{E} . Его большая полуось параллельна \vec{E} . Эллипсоид поляризуется [2], и в результате у его поверхности в направлениях, противоположных \vec{E} , возникает сильное поле, значительно превосходящее \vec{E} , что приводит к автоэмиссии. С течением времени t эллипсоид приобретает заряд $q(t)$. Требуется определить этот заряд как функцию времени и других физических параметров задачи.

Для решения задачи использованы асимптотические методы квантовой механики и статистики, разложение интегралов по большим и малым параметрам. Найден коэффициент прохождения электронов через потенциальный барьер. Затем определена плотность туннельного тока с поверхности, после чего вычислен суммарный ток $I(q)$ электронов. Последующее решение задачи Коши для дифференциального уравнения

$$\frac{dq}{dt} = I(q) \text{ позволило определить } q(t). \text{ Численные оценки показали}$$

возможность применения автоэмиссии для электросепарации даже в относительно слабых полях \vec{E} .

1. Флюгге З. Задачи по квантовой механике. Т.2. М.: Мир, 1974. 315 с.

2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. 620 с.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук В. В. Попов.

ЭЛЕКТРОННЫЙ ТРАНСПОРТ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МЕМБРАНАХ С ДВУМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ГАЗОМ В РЕЖИМЕ КВАНТОВОГО ЭФФЕКТА ХОЛЛА

Е. Ю. Жданов

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Электронный транспорт в микросистемах, изготовленных в массиве полупроводника, изучается уже достаточно давно. Однако в последнее время растёт интерес к так называемым микро и наноэлектромеханическим системам – микро и наноструктурам, оторванным от подложки и обладающим дополнительными механическими степенями свободы. Актуальность изучения этих систем обусловлена тем, что электрические и механические степени свободы “сцепляются”, приводя к ряду новых интересных явлений. Эти явления остаются пока слабоизученными.

В данной работе изучается электронный транспорт в оторванных от подложки полупроводниковых системах с двумерным электронным газом (ДЭГ) в условиях низких (до 300 мК) температур и сильных (до 11 Тл) магнитных полей.

В ходе работы созданы полупроводниковые мембраны с высокоподвижным ДЭГ (подвижность $\mu \approx 2 \cdot 10^6$ см²/В·с при концентрации $n \approx 5 \cdot 10^{11}$ см⁻²) на основе гетероструктур AlAs / GaAs с жертвенным слоем AlAs, который впоследствии удалялся селективным травителем. Проведены измерения жесткости подвешенной мембраны методом атомно-силовой спектроскопии и показана возможность поворота мембраны в магнитном поле. Сравнение магнетосопротивлений экспериментальных образцов до и после отрыва от подложки позволило установить, что после подвешивания мембран подвижность ДЭГ уменьшается незначительно.

Обнаружено, что в условиях квантового эффекта Холла поведение подвешенного ДЭГ существенно отличается от поведения обычного ДЭГ. В частности, в квантующих магнитных полях в холловском магнетосопротивлении наблюдаются холловские плато, но значение продольного магнетосопротивления в минимумах, соответствующих данным холловским плато, не только не обращается в ноль, но и слабо либо аномально зависит от температуры. Полученные данные воспроизводятся на различных образцах. Наблюдаемые неожиданные эффекты, предположительно, можно объяснить наличием в узком месте мембраны пьезоэлектрического барьера.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук М. В. Буданцев.

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА ИМПУЛЬСНУЮ КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ ПЛЕНОК АМОРФНОГО ГИДРОГЕНИЗИРОВАННОГО КРЕМНИЯ

А. А. Зеленина

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время изучение свойств аморфного гидрогенизированного кремния (a-Si:H) является актуальной задачей в связи с тем, что пленки a-Si:H находят применение в солнечных элементах и в плоских дисплеях в качестве материала для тонкопленочных транзисторов активных матриц. Поликристаллический кремний обладает лучшими качествами, он более стабилен, подвижность носителей заряда в нем на порядки выше, а значит качество приборов на основе поликремния значительно лучше. Причем для многих важных применений необходимо использовать пленки кремния на дешевых нетугоплавких подложках – даже на пластике. Поэтому, применение печных отжигов для кристаллизации исходно аморфных пленок не приемлемо. Несмотря на то, что импульсная лазерная кристаллизация пленок аморфного кремния развивается около 30 лет, она остается актуальной и до сегодняшнего дня.

В настоящей работе исследованы четыре типа пленок аморфного гидрогенизированного кремния. Три из них были получены методом плазмохимического осаждения из моносилана (SiH_4), последний - осаждением кремния из кремниевой мишени в высоком вакууме.

Образцы были обработаны наносекундными световыми импульсами. Для импульсных обработок использовался твердотельный YAG:Nd лазер. Так как в тонких пленках аморфного кремния эффективно поглощается излучение ультрафиолетового диапазона, была использована третья гармоника данного лазера ($\lambda = 335$ нм, длительность импульса 10 нс). Также использовался эксимерный XeCl лазер ($\lambda = 308$ нм, 20 нс).

В качестве метода исследования структуры пленок был выбран метод комбинационного рассеяния света [1]. С помощью наноимпульсных лазерных обработок удалось кристаллизовать пленки a-Si и a-Si:H с различным содержанием водорода. Обычно, для лазерной кристаллизации пленок a-Si:H используются эксимерные лазеры [2], мы показали, что твердотельный YAG:Nd лазер можно использовать в данной технологии.

1. Б. А. Колесов, Раман-спектроскопия в неорганической химии и минералогии, издательство Сибирского отделения РАН, (2009).

2. James S. Im, H. J. Kim, Michael O. Thompson. Appl. Phys.Lett., 63 1969 (1993).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. А. Володин.

ЗАВИСИМОСТЬ ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ СИЛЫ СВЕТА ОСНОВНЫХ ЦВЕТОВ RGB СВЕТОДИОДА

К. С. Калугин, А. А. Вилисов

Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

В последнее время в различных литературных источниках, посвященных использованию светодиодов в качестве источников освещения, показываются различные преимущества использования и RGB светодиодов, и белых светодиодов (на основе люминофора). Одним важным преимуществом RGB светодиодов указывают возможность изменять цветовую температуру по желанию потребителя, однако ни в одном источнике не указан пропорциональный состав для конкретной цветовой температуры.

Целью исследований было изучение зависимости цветовой температуры от силы света для трех основных цветов (красный, зелёный, синий).

В качестве объекта исследований использовался RGB светодиод, собранный в лаборатории оптоэлектроники ОАО «НИИПП». В светодиоде использовались кристаллы: красный, зелёный, синий.

Измерения проводились при трех различных токовых режимах: 5, 10, 20 мА. Ток, в зависимости от режима, фиксировался на двух кристаллах, и снималась зависимость цветовой температуры от силы тока на третьем кристалле. Верхний предел силы тока выбирался соответствующий максимальной силе света. Измерения проводились при помощи спектроколориметра в ОАО «НИИПП».

Исследование влияния изменения силы тока на красном кристалле, а значит и интенсивности красного цвета, показали, что с увеличением доли красного цвета цветовая температура белого цвета падает. При этом в зависимости от токового режима меняются пределы изменения и скорость изменения цветовой температуры. Изменение цветовой температуры имеет нелинейный характер, при этом с ростом тока скорость изменения цветовой температуры падает.

Дальнейшие исследования предполагают получение пропорционального состава для различной цветовой температуры.

1. Шуберт Ф. Светодиоды // Пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2008. – 496с.

Научный руководитель – д-р техн. наук А. А. Вилисов.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОТЖИГА НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ С ПРИМЕСЯМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

М. В. Карзанова, Е. А. Европейцев

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Известна возможность сконцентрировать в тонкоплёночной структуре полезные свойства одного из самых эффективных для ФЛ ионов Er^{3+} матричных материалов – теллуридного стекла (ТС) и многоканальную передачу $n\text{Si} \rightarrow \text{Er}^{3+}$, $n\text{Si} \rightarrow \text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Er}^{3+}$. Такие структуры представляют интерес для оптоэлектроники на основе кремния [1]. Структуры представляют собой слои пористого кремния (ПК), в поры которого вплавляется ТС. Присутствие в пористом кремнии парамагнитных центров, которые являются центрами безызлучательной рекомбинации, антикоррелирует с видимой ФЛ в ПК. Чтобы избавиться от влияния парамагнитных центров для усиления фотолюминесценции на 1,5 мкм, применялся предварительный окислительный отжиг ПК от 500 до 900 °С. С увеличением температуры отжига вклад парамагнитных центров уменьшается, что подтверждается данными ЭПР спектроскопии. Показано, что наиболее эффективным для усиления ФЛ данной структуры является отжиг 700 °С. С повышением температуры отжига происходит гашение ФЛ, так как в ПК возникают большие напряжения из-за разницы коэффициентов термического расширения кремния и оксида кремния. Из предварительных исследований известно [2], что предварительный отжиг 700 °С практически полностью гасит ФЛ от ПК, однако в данном случае при отжиге 900 °С наблюдался достаточно интенсивный пик ФЛ. На ВАХ данных структур наблюдается гистерезис, что объясняется перезарядкой гранул кремния в ПК. С увеличением температуры предварительного отжига увеличивается сопротивление. По мере хранения образцов поводимость падает. Нестабильность объясняется активным внутренним окислением.

1. Е. С. Демидов, А. Н. Михайлов, А. Н. Белов, Н. Е. Демидова, Ю. И. Чигиринский, А. Н. Шушунов, Д. И. Тетельбаум, О. Н. Горшков, С. А. Филиппов // Материалы XII межд. Симпозиума «Нанозлектроника и нанозлектроника», 2009, 16-20 марта, Нижний Новгород, ИФМ РАН, Т.2, С. 326-327.

2. Н. Е. Демидова // Транспорт тока, ЭПР и фотолюминесценция в пористом кремнии // Автореф. канд. дисс., Нижний Новгород 2010.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, проф. Е. С. Демидов.

О ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭФФЕКТА ИНЖЕКЦИОННОГО ОБЕДНЕНИЯ В P-N- СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ

А. Б. Каршиев

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

Эффект инжекционного обеднения впервые был теоретически предсказан П. М. Карагеоргий-Алкалаевым и А. Ю. Лейдерман [1]. Это явление наблюдается в р-і-п- структурах (или других структурах с аналогичной зонной диаграммой) при прямом направлении тока, когда имеет место инжекция неосновных носителей из р-п-перехода и аккумуляция основных носителей у n-n⁺- перехода В этом случае основное уравнение задачи имеет вид:

$$\frac{d^2 p}{dx^2} - aJ \frac{dp}{dx} - \frac{p}{L_p} = 0$$

где $a = 1/2 qD_n N_t$ - параметр, зависящий от полной концентрации центров прилипания N_t . Этот эффект возможен только в случае, когда концентрация свободных носителей у n-n⁺- перехода больше чем у р-п-перехода, в силу чего $dp/dx > 0$ и дрейф носителей в базе происходит навстречу их диффузии; тогда с ростом тока концентрация на краях базы увеличивается, а в середине – уменьшается. При этом распределение концентрации в средней части базы описывается выражением $p \sim \exp(-aJx)$, а ВАХ имеет вид: $V \sim \exp(aJW)$. В последние годы в ФТИ НПО «Физика-Солнце» АНРУз эффект инжекционного обеднения наблюдался в многокомпонентных твердых растворах, выращенных на кремниевых подложках, в частности на $(Si_2)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs)_y$, $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ и $(Si_2)_x(GaSb)_{1-x}$. Однако, эти структуры экспериментально изготавливались как р-п- переходы с омическими контактами. Поэтому представляется, что возможен другой путь реализации встречных направлений. Если градиент концентрации будет убывать от р-п- перехода к омическому тыловому контакту, но знак самой скорости амбиполярного дрейфа изменится, т.е. $v_a < 0$, то дрейф и диффузии будут направлены навстречу. Это возможно в случае, когда в базе или хотя бы на части базы произойдет перекомпенсация материала, т.е. будут присутствовать глубокие примеси противоположного знака, например положительно ионизованные центры прилипания для электронов N_a .

1. Leyderman A. Yu., Karageorgy-Alkalaev P. M., Solid Stat Comm. 1978, v.25, №3, p.781-783.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., проф. А. Ю. Лейдерман.

ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ЙОДИДА СЕРЕБРА ПРИ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ ПОЛУПРОВОДНИК-СУПЕРИОННЫЙ ПРОВОДНИК

Н. А. Кириков

Российский государственный педагогический университет им. Герцена,
г. Санкт-Петербург

Проблема разделения электронного и ионного вкладов в электрическую проводимость ионных проводников остается актуальной по настоящее время, несмотря на значительные усилия, прилагаемые в данном направлении. Особое внимание уделяется исследованиям фазовых превращений в суперионниках ввиду больших скачкообразных изменений проводимости при фазовых переходах. Так, в пленках AgI, исследованию которых посвящена данная работа, при фазовом переходе при температуре 150 °С из полупроводниковой фазы в фазу с высокой ионной проводимостью суммарная проводимость возрастает как минимум на два порядка, однако в отношении численного значения соотношения вкладов электронного и ионного скачков при таком переходе единое мнение отсутствует. Разброс мнений обусловлен различными значениями электрических параметров пленок AgI, получаемых различными методами измерений.

Ввиду большой разницы масс ионов серебра и электронов можно надеяться на успех в экспериментальном исследовании таких различий при изучении частотной зависимости параметров фазового перехода в суперионное состояние. В этом отношении перспективен емкостный метод исследования перколяционных свойств пленок суперионика в области термического фазового перехода на мегагерцовых частотах, из-за того, что, ввиду резкой различной инерционности электронного и ионного вкладов в скачок диэлектрической проницаемости материала при фазовом превращении, запаздывание по фазе упомянутых колебаний должно сильно зависеть от частоты, если только частота выбрана вблизи характерных изменений свойств материала. От частоты зависят, как оказалось, также параметры петли термического гистерезиса проводимости при фазовом переходе, именно, температурное положение, ширина и форма нагревной и охлаждающей ветвей.

Наши исследования показали, что для уверенной регистрации изменений параметров перехода следует выбрать диапазон частот 0,5–10 МГц. Наблюдается также изменение максимального скачка фазового запаздывания и формы петель гистерезиса.

Для исследования частотной зависимости параметров петли гистерезиса был применен метод аппроксимации нагревной и охлаждающей ветвей каждой петли двумя интегралами гауссианами вида:

$$\phi(T) = A \int_{-\infty}^T e^{-\frac{(T-T_{C1})^2}{(\Delta T_1)^2}} dT + B \int_{-\infty}^T e^{-\frac{(T-T_{C2})^2}{(\Delta T_2)^2}} dT$$

Каждая из ветвей петли аппроксимирована двумя интегральными гауссианами, поскольку изображения петель демонстрируют сложную форму как нагревной, так и охлаждающей ветвей, состоящих из по крайней мере двух резко различающихся своим температурным ходом участков.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Е. Б. Шадрин.

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР НА ЭТАПАХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛАНГАСИТОВЫХ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТОВ

К. В. Ковальчук, Э. М. Ярош

Омский государственный технический университет

Монокристаллы лангасита ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) относятся к разряду сильных пьезоэлектриков и применяются для изготовления резонаторов, широкополосных фильтров, а также генераторов с высокой температурной стабильностью. До настоящего времени актуальной является задача обработки лангаситовых кристаллических элементов (КЭ) в форме обратной мезаструктуры, пригодных для производства высокочастотных резонаторов повышенной добротности.

В настоящей работе исследованы поверхностные структуры на пластинах лангасита Y-среза после механической шлифовки, химического травления, нанесения и снятия защитных масок Cr–Cu, V–Cu и пленочных электродов Cr–Ag, V–Ag. Для анализа поверхности использовали оптический интерферометр МИИ–4 и атомно-силовой микроскоп (АСМ).

Для проведения экспериментов были получены ЛГС пластины диаметром 5 мм и толщиной 0,2 мм, обработанные шлифовкой на корунде М14. После травления пластин с двух сторон на глубину более 28 мкм в растворе $\text{HCl} : \text{HF} : \text{H}_2\text{O} = 1 : 10 : 30$ при температуре 85 °С на поверхности обнаружена пористая пленка с нано размерами. Свойства пленки необычны: под пленкой сохраняется высокая скорость травления лангасита и почти идеальная полировка, неровность на уровне 3–5 нм. Получены АСМ-фотографии поверхности пленки на этапах ее травления.

При нанесении защитного и электродного покрытий на КЭ в качестве адгезионного подслоя выбран ванадий, что позволяет легко удалять пленочные структуры с поверхности, уход по частоте КЭ при этом незначительный. Защитное покрытие V–Cu наносили термическим испарением в вакууме. При толщине ванадия 5–10 нм и толщине меди 0,5–1,0 мкм эта структура выдерживает, не отслаиваясь, в указанном растворе два и более часов. С другой стороны, она легко удаляется с поверхности лангасита при нормальных условиях в слабом растворе перекиси водорода и соляной кислоты. АСМ-анализ показал наличие окислов VO_2 и V_2O_5 в адгезионных пленках ванадия, а также наличие дефектов, соразмерных «квантовым точкам» на поверхности пленок.

В результате исследования появилась возможность усовершенствования операционного цикла изготовления лангаситовых пьезоэлементов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Э. М. Ярош.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ЗОНДОМ АТОМНО-СИЛОВОГО МИКРОСКОПА

А. С. Кожухов

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Развитие современной электронной счетной базы требует создания на поверхности полупроводников все более миниатюрных устройств. Одним из современных методов для исследования и модификации поверхности полупроводников является метод атомно-силовой микроскопии (АСМ)[1], литография на базе которого обладает латеральным разрешением в несколько нанометров. Однако характерная глубина такой литографии не превышает 10 нм, что зачастую является недостаточным и требует дополнительных операций при создании наноструктурных объектов на поверхности. В последнее время прогресс в этом направлении связывается с развитием методов обратимой «зарядовой» зондовой нанолитографии - изменением распределения заряда на поверхности зондом АСМ. Такая литография позволяет изменять электрические свойства устройств без модификации поверхности и размеров таких устройств.

Для определения разрешающей способности локальной «зарядки» используется кельвиновская сканирующая зондовая микроскопия (КСЗМ), позволяющая получать распределение поверхностного потенциала. Данная методика основана на особенностях взаимодействия осциллирующей иглы АСМ и поверхности в условиях приложения взаимного потенциала.

Целью работы являлось исследование особенностей взаимодействия зонда и поверхности в условиях приложения потенциала, оптимизация электрических свойств устройств на поверхности полупроводника с помощью методики АСМ, создание метода изменения электрических свойств поверхности без её модификации.

Эксперименты проводились на АСМ Ntegra Aura (NT MDT), использовались стандартные кантилеверы. Для уменьшения эффектов, связанных с влагой на поверхности, часть экспериментов проводилась в вакуумных условиях.

Определены физические аспекты влияющие на разрешающую способность КСЗМ, продемонстрирована визуализация зарядки поверхности гладкой поверхности оксида кремния электронным пучком.

1.Binnig et al., Atomic Force Microscope, Physical Review Letters, 3, Mar. 1986.

ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛЬНОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТОМНЫХ СТУПЕНЕЙ ВБЛИЗИ КАНАВОК НА ПОВЕРХНОСТИ Si(111)

Т. В. Козлова

Новосибирский государственный университет

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Методами сканирующей электронной (СЭМ) и атомно-силовой (АСМ) микроскопии исследованы особенности упорядочения моноатомных ступеней вдоль системы канавок на поверхности кремния (111). Канавки создавались методом локального травления поверхности кремния сфокусированным ионным пучком галлия. Размеры канавок составляли 1×4 мкм², глубина – 0,2–1,5 мкм, расстояние между ними варьировалось в диапазоне 2–20 мкм. Отжиг осуществлялся в сверхвысоковакуумной камере пропусканием через образец постоянного или переменного электрического тока. В условиях сублимации, при термическом отжиге образца переменным электрическим током обнаружено перераспределение ступеней вблизи канавок из системы регулярных моноатомных ступеней в систему эшелонов (скоплений ступеней) (рис. 1). Возникновение эшелонов вызвано взаимодействием прямолинейных ступеней с кольцевыми ступенями, образующимися вокруг канавок. Следует отметить, что при нагреве образца переменным током на поверхности без

регулярно расположенных моноатомных ступеней. Характерной особенностью морфологии поверхности после отжига является возникновение эшелона со стороны нижележащих террас, что может быть объяснено снижением скорости движения ступеней при приближении к канавкам. В условиях термического отжига при слиянии двух близко расположенных канавок происходит аннигиляция круговых ступеней с формированием эшелона вдоль канавок. Атомные процессы, проходящие на поверхности кристалла, анализируются в рамках теории электромиграции.

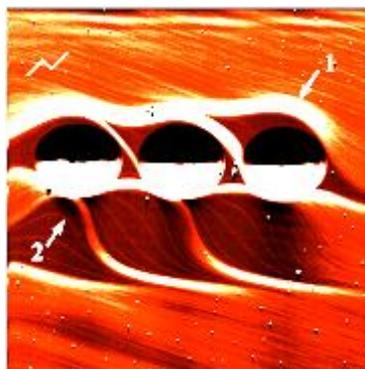


Рис. 1. АСМ изображение (25×25 мкм², фазовый контраст) поверхности Si(111) с канавками после отжига. 1 – эшелон, 2 – ступень.

Научный руководитель – член-корр. РАН А. В. Латышев.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ Si:Ge НАНОГЕТЕРОСТРУКТУР

К. А. Лозовой, А. М. Турапин, А. В. Яцкий, А. П. Коханенко
Томский государственный университет

Во всем мире идет стремительное развитие нанотехнологий в научном и прикладном плане. Прогресс технологий выращивания полупроводниковых структур сделал возможным создание материалов с наноразмерными включениями – квантовыми ямами (КЯ) и квантовыми точками (КТ). Эти структуры характеризуются рядом новых явлений и свойств, представляющих интерес для проведения фундаментальных исследований и привлекательных для приборного применения в оптоэлектронике.

Гетероструктуры с КТ и КЯ получили широкое применение в создании полупроводниковых лазеров и солнечных элементов (СЭ). Солнечная энергия прочно завоевывает позиции в мировой энергетике, так как является экологически чистым, практически неисчерпаемым источником энергии, доступным потребителю в любой точке Земного шара и в связи с истощением традиционной сырьевой базы. Гетероструктуры являются перспективными для фотоэлектрических применений.

В последние несколько лет наметились перспективы использования полупроводниковых материалов на основе германия и кремния, содержащих кластеры Ge нанометровых размеров (КТ), «встроенные» в матрицу Si. Интерес к нанокластерам Ge и Si связан с успехами в разработке технологии получения достаточно однородного по размеру массива нанокластеров Ge; возможностью уменьшения размеров нанокластеров до значений, обеспечивающих проявление эффектов размерного квантования и электрон-электронного взаимодействия вплоть до комнатной температуры; совместимостью разработанных методов с существующей кремниевой технологией изготовления дискретных приборов и схем.

В данной работе исследовалась спектральная чувствительность р-і-п диодов на основе гетероструктур Si:Ge, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Из полученных экспериментально кривых спектральной чувствительности образцов СЭ с КТ Ge в Si видно, что их фоточувствительность в ближней ИК области спектра простирается вплоть до длин волн 1200–1300 нм. Этот эффект может способствовать увеличению КПД СЭ на основе Si с КТ Ge по сравнению с обычными кремниевыми СЭ, для которых диапазон поглощения ограничен длиной волны 1200 нм.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. П. Коханенко.

СТРУКТУРЫ InAs / AlGaAs КВАНТОВЫХ ТОЧЕК С ЭФФЕКТИВНЫМ ПЕРЕНОСОМ ЗАРЯДА, ВЫРАЩЕННЫЕ МЕТОДОМ НАНОКАПЕЛЬНОЙ ЭПИТАКСИИ

А. А. Лямкина

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Полупроводниковые квантовые точки (КТ) в настоящее время широко исследуются для создания на их основе оптических приборов нового поколения. Важным преимуществом InAs / AlGaAs КТ является сдвиг спектра в видимую область. Однако захват носителей заряда из смачивающего слоя (СС) в КТ неэффективен из-за шероховатости нижней гетерограницы и высокой концентрации центров безызлучательной рекомбинации [1]. В данной работе мы показываем, что использование нанокapельной эпитаксии позволяет выращивать высококачественные структуры с InAs / Al_{0,9}Ga_{0,1}As КТ с гладкой гетерограницей.

Структуры с InAs/Al(Ga)As КТ, исследуемые в данной работе, были выращены на полуизолирующей подложке арсенида галлия (001) методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Для сравнения КТ были выращены двумя принципиально разными методами – методом Странского-Крастанова (СК) и нанокapельной эпитаксией (НЭ). Дифракционные картины, наблюдавшиеся непосредственно перед ростом КТ, демонстрируют высокое качество исходной поверхности с террасами размером около 100 нм. Дополнительные АСМ исследования поверхности, подготовленной для роста КТ, подтвердили существование моноатомных ступеней с характерным размером 100 нм.

В спектре люминесценции (ФЛ) смачивающего слоя (СС) структуры СК линии отдельных фононных повторений уширены и сильно перекрыты, вырождаясь в две широкие полосы, в то время как в спектре ФЛ структуры НЭ отчетливо видны отдельные узкие линии всех фононных повторений. Так как уширение линии СС связано с шероховатостью границы смачивающего слоя [2], можно заключить, что качество гетерограницы значительно выше в случае структуры НЭ.

Таким образом, показано, что нанокapельная эпитаксия позволяет получать высококачественные структуры с InAs / AlGaAs КТ с гладкой гетерограницей для последующих приложений в оптических приборах.

-
1. T. S. Shamirzaev et al, Nanotechnology 21, 155703 (2010).
 2. T. S. Shamirzaev et al. Physical Review B 76, 155309 (2007).

Научный руководитель – С. П. Мощенко.

ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ, СТРУКТУРНЫХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛОВ Bi_2Te_3 И Bi_2Se_3

С. В. Макаренко

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Интерес к изучению монокристаллов Bi_2Te_3 и Bi_2Se_3 связан с тем, что они проявляют свойства, так называемых, топологических изоляторов (ТИ), обнаруженные несколько лет назад. Особенность ТИ состоит в том, что у них на поверхности для электронов отсутствует запрещенная зона, а в объёме она составляет $\sim 0,25\text{--}0,4$ eV для различных соединений. Причем, согласно результатам фотоэмиссионной спектроскопии, на поверхности электроны имеют линейную зависимость энергии от квазиимпульса, то есть ведут себя как безмассовые частицы [1]. Примерами топологических изоляторов являются соединения V_2VI_3 , где $\text{V} = \text{Bi}, \text{Sb}$; $\text{VI} = \text{Se}, \text{Te}$. Кристаллическая решетка соединений Bi_2VI_3 ($\text{VI} = \text{Se}, \text{Te}$) состоит из квинтетов – последовательности пяти плотноупакованных слоев Te-Bi-Te-Bi-Te (на примере Bi_2Te_3). Слои внутри квинтета соединены сильной ионной связью. Сами же квинтеты соединены между собой относительно слабыми силами Ван-дер-Ваальса. На сегодняшний день связь между химическими, структурными и электрофизическими свойствами поверхности (111) соединений Bi_2Te_3 и Bi_2Se_3 изучена недостаточно.

Задача данной работы состояла в изучении химических и структурных свойств поверхностей Bi_2Te_3 и Bi_2Se_3 методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), сканирующей туннельной микроскопией (СТМ) и атомно-силовой микроскопией (АСМ), а также в изучении зависимости подвижности и проводимости от температуры.

Методом скола получены атомно-гладкие поверхности ориентации (111) монокристаллов Bi_2Te_3 и Bi_2Se_3 площадью ~ 1 см². Методом РФЭС продемонстрирована инертность поверхностей Bi_2Te_3 и Bi_2Se_3 к окислению на воздухе. Методом Холла в схеме Ван-дер-Пау показано, что кристаллы Bi_2Te_3 обладают р-типом проводимости и обладают подвижностью $\mu_{300} = 260$ см²/(В·с), $\mu_{77} = 3500$ см²/(В·с); а кристаллы Bi_2Se_3 n-типом и $\mu_{300} = 750$ см²/(В·с), $\mu_{77} = 1500$ см²/(В·с) при температурах 300 °К и 77 °К. Отрабатываются способы получения тонких плёнок Bi_2Te_3 и Bi_2Se_3 для выделения топологических эффектов связанных с поверхностными свойствами этих кристаллов.

1. Y. Xia, D. Qian, D. Hsieh et al. Observation of a large-gap topological-insulator class with a single Dirac cone on the surface Nature Phys. vol. 5. 2009.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук, доцент О. Е. Терещенко, д-р физ.-мат. наук, проф. О. П. Пчеляков.

ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ПЯТИКРАТНОЙ ПЕРЕПЛАВКОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ НА СОЛНЕЧНОЙ ПЕЧИ

Ш. Т. Маншуров

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

Нами был получен поликристаллический кремний высокой чистоты (99.4%) путём переплавки технического кремния марки КРЗ на открытом воздухе на солнечной печи. Рентгеноструктурный анализ полученного материала показал, что он содержит большое количество глубоких примесей, причём распределение их концентрации вдоль образца носит ярко выраженный периодический характер [1]. Из этого материала были изготовлены пластинки с простыми омическими контактами. Далее исследовались зависимости тока и напряжения этих образцов от температуры (рис. 1а и б).

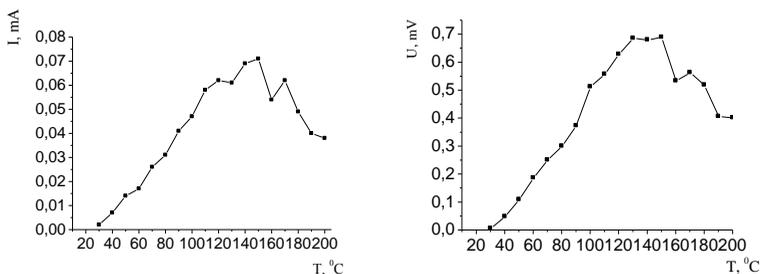


Рис.1 Температурная зависимость тока (а) и напряжения (б) образца с простыми омическими контактами, изготовленного из поликристаллического кремния, полученного пятикратной переплавкой технического кремния на открытом воздухе на солнечной печи.

Из рисунков видно, что при температуре, большей 25 °С наш образец с простыми омическими контактами становится своеобразным генератором тока и напряжения. Это достаточно необычное явление объясняется на основе представлений о процессах самоорганизации, приводящих к периодическому распределению глубоких примесей.

1. Saidov A.S., Leyderman A.Yu., Manshurov Sh. T. Applied Solar Energy . 2010, №2, p.35-38.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Саидов., д-р физ.-мат. наук, проф А. Ю. Лейдерман.

СТРУКТУРА И ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА В ТОНКИХ ПЛЁНКАХ ВИСМУТА, ЛЕГИРОВАННОГО ТЕЛЛУРОМ

Д. Ю. Матвеев, Е. В. Константинов
Российский государственный педагогический университет
им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург

Выполненная работа соответствует плану исследований закономерностей изменения свойств полуметаллов при переходе от массивных монокристаллов к низкоразмерным структурам. Выбор для исследований полуметаллов типа висмута определяется малыми значениями эффективных масс носителей заряда, высокими значениями их подвижности, возможностью изменения концентрации и подвижности носителей заряда в широких пределах легированием.

Целью работы является исследование явлений переноса в тонких плёнках легированного теллуром висмута, изготовленных методом термического испарения в вакууме, и определение технологических режимов, обеспечивающих получение легированных плёнок с совершенной структурой.

Изготовлены две серии пленок висмута с содержанием донорных примесей Те в количестве 0,005 ат. % и 0,05 ат. %, толщиной в диапазоне 90–1400 нм, исследована структура поверхности пленок методом АСМ [1]. Плёнки имели блочную структуру с ориентацией оси C_3 перпендикулярно плоскости подложки [2]

Были выполнены исследования удельного сопротивления, магнетосопротивления и коэффициента Холла пленок магнитном поле до 0,65 Тл стационарными методами в интервале температур 77-300 °К [2]. В эффектах переноса обнаружено проявление размерных эффектов, обусловленных ограничением длины свободного пробега носителей заряда толщиной пленки и размерами кристаллитов. Установлены закономерности изменения коэффициентов переноса, концентрации и подвижности носителей заряда в пленках висмута при переходе от собственной проводимости к примесной вследствие легирования.

1. Грабов В. М., Демидов Е. В., Комаров В. А., Климантов М. М., Матвеев Д. Ю., Слепнев С. В., Усынин Е. В., Христоч Е. Е. Особенности структуры и явления переноса в плёнках висмута, полученных методом термического испарения в вакууме. // Известия РГПУ им. А.И.Герцена, № 95. Естественные и точные науки: Научный журнал. СПб., 2009.

2. Матвеев Д. Ю., Христоч Е. Е. Электрические свойства плёнок висмута, легированного теллуром. // Физический вестник №3. Сборник научных трудов. СПб., 2009. С. 25-29.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. М. Грабов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МОЛЕКУЛ ДНК НА ЗАРЯЖЕННУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ОКСИДА КРЕМНИЯ

Э. Ю. Матхонова

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Развитие биологических нанотехнологий неразрывно связано с прогрессом в области препарирования и модификации (изменения свойств) биологических нанообъектов. Одной из перспективных задач в направлении изучения живых систем является задача совмещения биологических и химических технологий препарирования молекул ДНК с хорошо развитыми твердотельными технологиями. Особое внимание уделяют задаче о контролируемом расположении молекул ДНК на поверхности твердого тела. Один из методов изучения биологических объектов отображен в работе Клинова Д. В. [1], где наблюдается самоорганизация молекул ДНК на графитовой подложке, покрытой слоем NH_3^+ , в зависимости от дозы электрического заряда.

В данной работе рассматривается поведение ДНК молекул с шириной 0,5 нм. на предварительно заряженных подложках SiO_2 . С помощью сканирующего электронного микроскопа, на кремниевой подложке с напыленным оксидом кремния толщиной 15–20 нм, прямым пучком высокоэнергичных электронов были созданы локальные заряженные области в диапазоне энергий 1–30 кэВ. После зарядки методом атомно-силовой микроскопии [2] проводилось сканирование заряженных образцов для нахождения поверхностного потенциала. Далее после нанесения молекул ДНК на образец, они перераспределяются на поверхности таким образом, что молекулы находящиеся на заряженных областях переходят на не заряженные и выстраиваются в определенном порядке.

В ходе работы были созданы локальные заряженные области на границе раздела $\text{SiO}_2 - \text{Si}$, рассмотрено упорядочение молекул ДНК на заряженных и не заряженных областях.

1. D. Klinov, K. Atlasov. DNA Nanopositioning and Alignment by Electron-Beam-Induced Surface Chemical Patterning. Nano Letters 2007 Vol.7.No.12, p.3583-3587.

2. Описание работы Ntegra Aura, часть 5. Многопроходные методы, www.ntmdt.ru

Научные руководители – канд. физ.-мат. Д. В. Щеглов, Д. А. Насимов.

ЭЛЕКТРОННЫЕ СОСТОЯНИЯ В ГРАФЕНЕ С ОДНОМЕРНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ТРАНЗИСТОРОВ

Д. С. Мисерев

Новосибирский государственный университет

Одним из наиболее перспективных материалов электроники является графен. С общенаучной точки зрения, графен интересен своим специфическим энергетическим спектром: нулевой запрещенной зоной и линейным законом дисперсии. Математически электроны в графене описываются релятивистской моделью безмассовых фермионов с гамильтонианом $H = \sigma p + U(\mathbf{r})$.

Среди предлагавшихся устройств с использованием графена можно отметить баллистический транзистор, в котором управление электронами осуществляется за счет приложения к графену внешнего управляющего напряжения. Высокая подвижность носителей заряда в графене значительно увеличивает быстродействие прибора. Изучение тока в графеновом баллистическом транзисторе можно свести к задаче о прохождении электронов с дираковским спектром через потенциальные барьеры. Целью настоящей работы является изучение электронных состояний в графене с одномерным потенциалом $U(x)$. Найденные коэффициенты прохождения через потенциальные барьеры используются для расчета характеристик баллистического транзистора на основе графена.

Основной особенностью данной задачи для p-n перехода является наличие безотражательного решения. Это значит, что вблизи точек Дирака существуют частицы с равномерным распределением плотности вероятности. В данной работе рассчитан ток в электронных транзисторах на основе графена, содержащих p-n переходы и другие потенциальные барьеры, в зависимости от их параметров. В частности, была найдена вольт-амперная характеристика p-n перехода в случае вырожденного распределения электронов по энергиям. Задачи рассматривались в приближении малых потенциалов и в ВКБ-приближении.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук М. В. Энтин.

ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПЛЁНОК ГРАФЕНА ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТОЙ

Н. А. Небогатикова

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Причина интереса к графену – потребность в новых наноматериалах с необычными электрофизическими свойствами для посткремниевой электроники. Для создания устройств на основе графена необходимо научиться получать комплементарные к графену материалы с заранее заданными свойствами. Для направленного изменения свойств графена в настоящее время широко используются методы химической функционализации. В нашей работе в качестве химического реагента использовалась плавиковая кислота HF, исследовались изменения свойств графена после обработки в ней.

Исследуемые образцы графена с характерными размерами $20 \text{ мкм} \times 50 \text{ мкм} \times 3\text{--}5 \text{ нм}$ были получены методом электростатического расщепления высокоориентированного пиролитического графита, перенесены на подложку $300 \text{ нм SiO}_2/\text{Si}$. Для исследования электрических свойств структур к отщеплённым плёнкам графена были созданы контакты из серебряной пасты. Обработка образцов проводилась в 5%-ном водном растворе плавиковой кислоты и длилась от 8 до 20 минут. Вольт-амперные характеристики и затворные характеристики, полученные с использованием подложки в качестве затвора, использовались для диагностики плёнок графена. Измерения проводились до и после обработки образца в плавиковой кислоте.

При анализе полученных результатов были обнаружены следующие изменения свойств графеновых пленок:

1. Исходные образцы графена сгорают при приложении к ним напряжения $1\text{--}1,5 \text{ В}$, тогда как обработанные в HF плёнки способны выдерживать напряжения более 5 В .

2. Обработка в HF приводила к изменению сопротивления образца на порядки. p-тип проводимости в результате обработки в HF менялся на n-тип.

3. Изменение сопротивления при адсорбции воды на поверхности исходных структур после обработки возросло примерно на порядок.

4. Показано также, что травление окисла идет равномерно как на открытой поверхности SiO_2 , так и под плёнкой графена.

Полученные результаты не могут быть объяснены простой пассивацией дефектов структур, как принято считать. Возможные физические причины наблюдаемых эффектов обсуждаются в работе.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук И. В. Антонова.

ЭЛЕКТРОН-ФОНОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В GE ПОД ДАВЛЕНИЕМ

С. В. Обухов, В. Г. Тютюрев

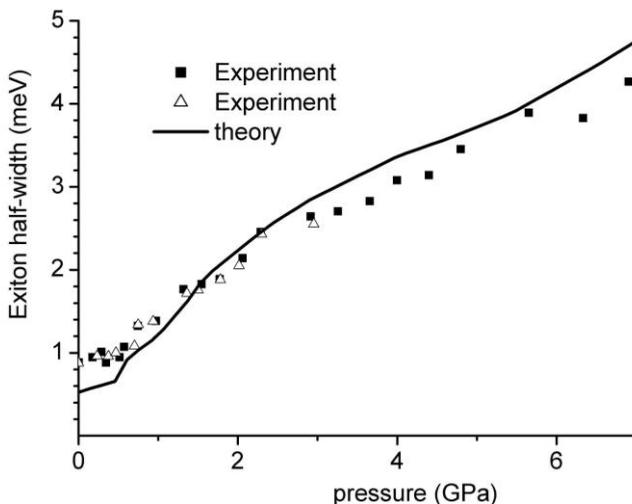
Томский государственный педагогический университет

Из первых принципов в рамках теории возмущений функционала электронной плотности (DFPT [1]) теоретически исследованы процессы электрон-фононного взаимодействия в кристаллическом германии n -типа. Рассчитана зависимость темпа электрон-фононного рассеяния из точки Γ зоны Бриллюэна в боковые L, X и Δ долины от приложенного давления P в диапазоне от 0 до 8 ГПа. Темп электрон-фононной релаксации $W_f(P)$ рассчитывался через «золотое правило Ферми»:

$$W_f(P) = \frac{2\pi}{\hbar} \sum_{\mathbf{q}\lambda} \left| \langle \psi_{n,\Gamma} | \Delta V_{\mathbf{k}_f+\mathbf{q}}^\lambda | \psi_{n,\mathbf{k}_f+\mathbf{q}} \rangle \right|^2 \left(2N(\omega_{\mathbf{k}_f+\mathbf{q}}^\lambda) + 1 \right) \delta(\varepsilon_\Gamma - \varepsilon_{\mathbf{k}_f+\mathbf{q}}^\lambda)$$

где $\langle \psi_{n,\Gamma} | \Delta V_{\mathbf{k}_f+\mathbf{q}}^\lambda | \psi_{n,\mathbf{k}_f+\mathbf{q}} \rangle$ матричный элемент перехода электрона из точки Γ в боковую долину \mathbf{k}_f с излучением или поглощением фонона ветви λ с волновым вектором $\mathbf{k}_f + \mathbf{q}$. Здесь \mathbf{k}_f - положение точки экстремума L, X, Δ и \mathbf{q} - отклонение волнового вектора электрона от этой точки. Спектр и волновые функции электронов в нижней зоне проводимости, спектр колебаний и собственные векторы фононов, возмущение кристаллического потенциала $\Delta V_{\mathbf{k}_f+\mathbf{q}}^\lambda$, вызванное фононом, рассчитывалось самосогласованным образом по методике работ [2,3] с использованием модифицированного кода Espresso [4]. Для того, чтобы выполнить интегрирование с δ - функцией, закон дисперсии электронов подгонялся под расчет аналитическими выражениями. Интегрирование по поверхностям постоянной энергии проведено численно методом Гаусса.

Рассчитаны зависимости относительных положений Γ, L, X, Δ уровней, эффективных масс в долинах, параметров анизотропии и непараболичности спектра, междолинных деформационных потенциалов от давления.



Полученные результаты использованы для расчета ширины спектральной линии прямого экситона в Ge в зависимости от приложенного внешнего давления. Зависимость полуширины линии экситона обусловлена испусканием междолинных фононов и хорошо согласуется с имеющимися экспериментальными данными [5] в широком диапазоне давлений.

-
1. P. Giannozzi, S. de Gironcoli, P. Pavone, and S. Baroni, Phys.Rev. B 43, 7231. 1991.
 2. J. Sjalste, N. Vast, and V. Tyuterev, Phys. Rev. Lett.99, 236405. 2007.
 3. V.Tyuterev, N.Vast, J.Sjalste, , Phys. Rev. B, v 81, 245212. 2010.
 4. S. Baroni et al. <http://www.pwscf.org>
 5. G. H. Li, A. R. G. ni, K. Syassen, and M. Cardona, Phys.Rev. B 49, 8017. 1994.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Г. Тютерев.

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ GaN / AlGaN ГЕТЕРОСТРУКТУР С ДВУМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ГАЗОМ

И. В. Осинных

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Гетероструктуры GaN / AlGaN представляют большой интерес благодаря своим электрическим свойствам. Как известно, различие постоянных решеток GaN и AlGaN приводят к появлению встроенного электрического поля из-за спонтанной поляризации и поляризации, обусловленной механическими деформациями на гетерогранице. Это приводит к возникновению потенциальной ямы для электронов на границе GaN / AlGaN, в которой образуется двухмерный электронный газ (2ДЭГ). Если создать в слое AlGaN донорный слой, то электроны, попадающие в квантовую яму, будут пространственно разделены с ионизированными донорами. По этой причине в структурах с 2ДЭГ возможно достичь высокой подвижности электронов до 10^4 – 10^5 см²/В·с при температуре жидкого гелия. Одним из способов характеристики таких структур является измерение спектров фотолюминесценции.

Целью данной работы было изучение рекомбинации 2ДЭГ электронов и дырок в объеме GaN. В работе приведены спектры ФЛ гетероструктур GaN / AlGaN с 2ДЭГ с подвижностью $\mu = 1100$ и 1700 см²/В·сек при комнатной температуре. Спектры ФЛ измерялись при комнатной и гелиевой температуре. При гелиевой температуре возбуждение ФЛ производилась как непрерывным, так и импульсным лазером. Последний позволяет достигать высокого уровня возбуждения. Были обнаружены полосы, сдвинутые в низкоэнергетическую область спектра, которые соответствуют рекомбинации электронов 2ДЭГ и дырок, локализованных на акцепторах, в объеме GaN. При освещении непрерывным лазером наблюдались 1 либо 2 полосы, связанные с рекомбинацией 2ДЭГ электронов, которые, вероятно, находятся на первом и втором энергетических уровнях в квантовой яме, сформированной вблизи гетерограницы. При возбуждении импульсным лазером наблюдалось появление дополнительных полос в более низкоэнергетической части спектра. Эти полосы скорее всего связаны с рекомбинацией 2ДЭГ электронов с дырками, захваченными на уровни более глубоких акцепторов.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук К. С. Журавлев.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Т. О. Петрова

Череповецкий государственный университет

Особенности физических характеристик сегнетоэлектриков, находящихся в ориентированном состоянии, связаны с их анизотропной структурой. В области перехода в это состояние для сегнетоэлектриков обычно характерны существенные аномалии их диэлектрических свойств [1].

Для описания упорядоченных систем с анизотропными ориентационными взаимодействиями в работе применяется трехмерная решеточная модель. Расчеты производились с помощью компьютерного моделирования методом Монте-Карло (алгоритм Метрополиса). С помощью предложенного метода рассчитаны энергия, параметры ближнего и дальнего ориентационного порядков в зависимости от числа ротаторов, значений констант взаимодействий, типа граничных условий, температуры, внешнего электрического поля.

Расчеты показали, что при числе ротаторов, больших 10^3 , увеличение частиц практически не влияет на результаты вычислений [2]. Применение периодических граничных условий также минимизирует эффекты конечного размера расчетной ячейки.

Данные компьютерного моделирования позволяют привести четкие доказательства существования фазового перехода в трехмерных сегнетоэлектриках, а также с допустимой степенью точности определить сами точки фазового перехода. Результаты расчета параметра ориентационного порядка хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Разработанная программа позволяет рассчитывать не только сегнетоэлектрические системы, но и другие системы с ориентационными взаимодействиями, например жидкие кристаллы.

Работа выполнена и поддержана в рамках федеральных целевых программ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» (грант № НК-263П(6)) и «Развитие научного потенциала высшей школы на 2009-2011 годы».

1. В. Г. Вакс. Введение в микроскопическую теорию сегнетоэлектриков. М.: Наука, 1973. 328 с.

2. А.В. Максимов, О. Г. Максимова. // Высокомолек. соед. А. 2003. Т. 45. № 9. С. 1476-1468.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент О. Г. Максимова.

ДИАГНОСТИКА НИЗКОРАЗМЕРНОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

С. А. Подорожняк, В. И. Устинов
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Полупроводниковые наноразмерные структуры, как например, квантовые нити и квантовые точки, привлекают пристальное внимание в связи с перспективой создания и принципиально новых устройств, и уже известных, но с улучшенными характеристиками: сенсоров, солнечных батарей, эффективных источников излучения (лазеров и светодиодов) и др. Разработка полупроводниковой низкоразмерной среды требует в первую очередь диагностики её свойств.

Для диагностики пористости низкоразмерных полупроводниковых слоёв обычно применяют методы: высокоразрешающей микроскопии, гравиметрический, лазерно-ультразвуковые, рентгеновские и др.

Для диагностики низкоразмерных сред этими методами или требуется сложное дорогостоящее оборудование, или проведение трудоёмких технологических операций. В работе предлагается сравнительно простой, не разрушающий низкоразмерную среду метод диагностики на основе частотных измерений.

Формирование структур проводили малозатратным электрохимическим методом. Для эксперимента использовались подложки кремния, арсенида галлия и фосфида индия.

Если рассматривать пористый полупроводник как среду, содержащую низкоразмерные проводящие объекты, то электрическая ёмкость должна испытывать дисперсию в зависимости от соотношения между размерами нанопроводников и радиусами экранирования [1]. Были сняты зависимости ёмкости от частоты в диапазоне от 200 кГц до 1000 кГц и установлена дисперсия ёмкости для всех образцов. Для тех же, но непористых полупроводников дисперсия отсутствовала.

Характер частотной дисперсии ёмкости позволяет определить размерность полупроводниковых нанокристаллов в пористом полупроводнике. В соответствии с известными моделями МДП структуры [2] была оценена величина диэлектрической проницаемости пористого слоя, а затем рассчитана пористость.

1. Н. С. Аверкиев, А. Я. Шик. ФТП, 30, 199 (1996)

2. В. Н. Бонч-Бруевич, С. Г. Колесников. Физика полупроводников. М. Наука, 1977

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Г. Н. Шелованова.

ФОТОИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}, \text{Ga}$, НАВЕДЕННЫЕ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1064 НМ

В. В. Попугаева, А. С. Акрестина, Л. А. Кабанова
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

В работе [1] показано, что в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ существует вклад в примесное поглощение, имеющий резонансный характер. В настоящей работе такое резонансное поглощение обнаружено в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}, \text{Ga}$ при исследовании изменений в спектральных зависимостях оптического поглощения, наблюдаемых после засветки импульсным излучением с длиной волны 1064 нм.

Получено, что облучение инфракрасным излучением приводит к увеличению оптического поглощения кристалла в области 430–590 нм и его снижению для спектрального интервала 610–840 нм. Фотоиндуцированные изменения в поглощении измерялись после облучения образца в течение 30 секунд и более (минимальная экспозиция составляла 25 Дж/см^2). Наведенные изменения в поглощении демонстрировали резонансный характер и могли аппроксимироваться суперпозицией пяти гауссовых составляющих. Спектральные зависимости поглощения кристалла практически полностью восстанавливались до исходного состояния в течение 6 часов.

Мы предполагаем, что наблюдаемый экспериментально вклад в примесное поглощение, имеющий резонансный характер, обусловлен существованием в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}, \text{Ga}$ дефектов в виде донорно-акцепторных пар, для которых возможны внутрицентровые переходы. Такие дефекты могут быть связаны с ионами висмута, так как подобные эффекты наблюдались ранее и в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ [1].

Проведенная аппроксимация в рамках модели, учитывающей вклад в примесное поглощение внутрицентровых переходов и переходов с глубоких донорных центров, показала хорошее согласие с экспериментальными результатами.

Работа выполнена при поддержке программ «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)» и ФАНИ (Гос. контракт № 02.740.11.0553). Авторы благодарят Шандарова С. М. за постановку задачи и полезные консультации.

1. M. G. Kisteneva, A. S. Akrestina, S. M. Shandarov, S. V. Smirnov, O. N. Bikeev, K. P. Lovetskii, and Yu. Kargin, J. Holography Speckle 5(3), 286 2009.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент М. Г. Кистенева.

ГИСТЕРЕЗИС МАГНЕТОСОПРОТИВЛЕНИЯ ДВУМЕРНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА В РЕЖИМЕ КВАНТОВОГО ЭФФЕКТА ХОЛЛА

Д. А. Похабов

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Несмотря на огромное количество экспериментальных и теоретических работ в области исследований двумерных электронных систем, в двумерном электронном газе (ДЭГ) наблюдаются явления, которые до сих пор не имеют удовлетворительного объяснения. В частности, было обнаружено, что при развёртке магнитного поля в ДЭГ в режиме квантового эффекта Холла (КЭХ) реализуется неравновесное состояние, которое выражается в гистерезисе различных физических характеристик состояния ДЭГ, например намагничённости [1]. Однако в обычных транспортных измерениях такое неравновесие обнаружить не удавалось. Гистерезис в измерениях магнетосопротивления наблюдали лишь в более сложных системах, характеризующихся дополнительной степенью свободы, например в системах с двумя квантовыми ямами [2], где предполагаемой причиной гистерезиса является образование квантового холлового ферромагнитного состояния.

В работе показано, что неравновесное состояние проявляется и в транспортных измерениях в виде гистерезиса обычного магнетосопротивления, если измерять его в сужении, помещённом в макроскопический ДЭГ. Экспериментально установлено, что гистерезис магнетосопротивления наблюдается на образцах, изготовленных на разных подложках и содержащих разный ДЭГ в магнитных полях, соответствующих целочисленным факторам заполнения макроскопического ДЭГ. Исследована зависимость гистерезиса от ширины сужения, температуры и концентрации. Предложена качественная интерпретация наблюдаемого гистерезиса магнетосопротивления ДЭГ в режиме КЭХ, основанная на неравновесном перераспределении электронов между уровнями Ландау при целых факторах заполнения, когда перколяция через объёмные состояния подавлена, благодаря тому, что объёмные состояния заняты несжимаемой электронной жидкостью.

1. A. Usher and M. Elliott, *J. Phys.: Condens. Matter* **21**, 103202 (2009).

2. V. Piazza, V. Pellegrini, F. Beltram, W. Wegscheider, T. Jungwirth, and A. H. MacDonald, *Nature* **402**, 638 (1999).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Г. Погосов.

САМОРАСПЫЛЕНИЕ МЕДИ ПРИ СКОЛЬЗЯЩЕЙ БОМБАРДИРОВКЕ ДИМЕРАМИ

А. Х. Расулов, В. Г. Стельмах

Институт электроники им. У. А. Арифова АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

Методом компьютерного моделирования рассчитывались коэффициенты самораспыления Y поверхности $\text{Cu}(100)$ при скользящей бомбардировке ионами Cu_2^+ с энергией 300 эВ. Угол скольжения ϕ падающих частиц, отсчитываемый от поверхности кристалла, варьировался в интервале от 1° до 30° . Азимутальный угол скольжения осчитывался поворотом мишени вокруг ее нормали и 0° соответствует кристаллографическому направлению $\langle 100 \rangle$. Используемая в наших расчетах программа основана на методе молекулярной динамики. Каждая стадия процесса столкновения моделируется с помощью модифицированного алгоритма Верлета и законов динамики Ньютона.

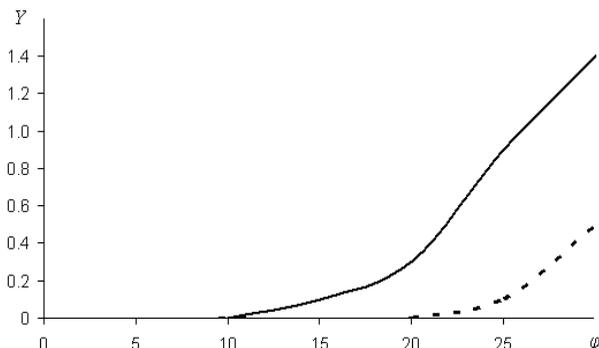


Рис. 1 Зависимость коэффициента распыления $\text{Cu}(100)$ от угла скольжения при скользящем падении димеров Cu_2 с энергией 300 эВ. Сплошная линия соответствует азимутальному углу 0° , пунктирная – 45°

Выбор малых углов скольжения определяется тем, что при скользящей ионной бомбардировке поверхности металла существенные изменения испытывают только приповерхностные слои и при определённых условиях эти слои могут самоорганизоваться в наноструктуры металла. Сами наноструктуры металлов представляют большой интерес для фундаментальных исследований благодаря своим уникальным свойствам. По результатам компьютерного моделирования анализировались зависимости коэффициента самораспыления меди от угла скольжения и от азимутального угла падения, а также эти результаты сравнены со случаем атомарной бомбардировки.

Научный руководитель – д-р физ.-мат.наук, проф. А. А. Джурахалов.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ СТРУКТУР $pSi-n(ZnSe)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaP)_y$ ($0 \leq x \leq 0.03$, $0 \leq y \leq 0.09$)

У. Х. Рахмонов

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

В данной работе приведена зависимость тока короткого замыкания $pSi-n(ZnSe)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaP)_y$ ($0 \leq x \leq 0.03$, $0 \leq y \leq 0.09$) структур от интенсивности излучения при различных длинах волн (рис. 1а)

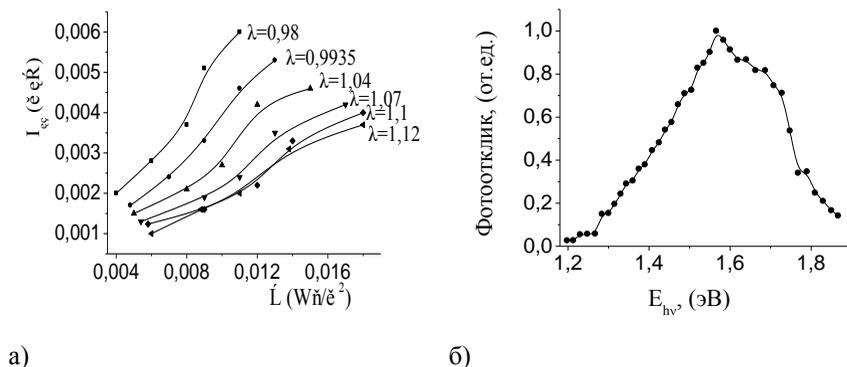


Рис.1 Зависимость тока коротко замыкания от интенсивности подающего излучения (а) и спектральная фоточувствительность (б) $pSi-n(ZnSe)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaP)_y$ ($0 \leq x \leq 0.03$, $0 \leq y \leq 0.09$) структур.

На рис.1б показана спектральная фоточувствительность исследованных структур, которая охватывает диапазон энергией квантов от 1,2 до 1,9 эВ. Спад чувствительности в коротковолновой области, по-видимому, обусловлен глубиной залегания разделяющего р-п – перехода, которая в нашем случае составляет 15 мкм. Диффузионная длина неосновных носителей меньше чем 15 мкм, следовательно, электронно-дырочные пары, генерированные коротковолновыми фотонами в приповерхностной области, не достигают разделяющего барьера р-п-перехода, что приводит к спаду фоточувствительности.

1. Саидов М.С.// Гелиотехника. 2008. № 2. С. 3-10. 2. Саидов М.С.// Гелиотехника. 1997. № 5-6. С.57-61

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Саидов, канд. физ.-мат. наук. Ш. Н. Усмонов.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ДВУМЕРНОГО ЗАРОЖДЕНИЯ ПРИ ГОМОЭПИТАКСИАЛЬНОМ РОСТЕ ПИРАМИДАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ Si(111)

Д. И. Роголо

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

В диапазоне температур 600-760 °С методом *in situ* сверхвысоковакуумной отражательной электронной микроскопии (СВВ ОЭМ) исследованы начальные стадии гомоэпитаксиального роста на поверхности Si(111). В отличие от других исследований, в данной работе осаждение кремния проводилось на поверхность с морфологией, характерными элементами которой являлись пирамидальные структуры (рис. 1). Формирование таких структур на поверхности Si(111) было обнаружено в диапазоне температур $T = 600-760$ °С и скоростей осаждения кремния $R = 10^{-3}-10^{-1}$ МС/с ($1 \text{ МС} = 1,56 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$) на участках между эшелонами (скоплениями) атомных ступеней. В процессе роста ширина наивысшей террасы увеличивалась вплоть до W_{crit} , по достижении которой происходило зарождение 2D-островков.

В результате изучения экспериментальной зависимости критической ширины террасы W_{crit} от температуры T (при $R = 1/7$ МС/с) и от скорости осаждения R (при $T = 600, 650$ и 700 °С) было обнаружено, что энергия активации двумерного зарождения E_a и параметр γ в аппроксимации $R = W_{crit}^{-1/\gamma} \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)$ имеют разные значения при $T < 700$ °С ($\gamma = 1/3$, $E_a = 3,6$ эВ) и при $T > 700$ °С ($\gamma = 1/2$, $E_a = 0,6$ эВ).

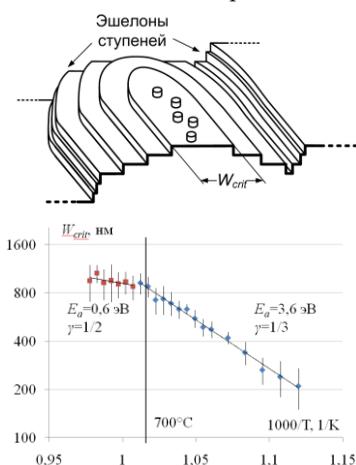


Рис. 1. Схематическое изображение пирамидальной структуры в момент зарождения двумерных островков роста (вверху) и зависимость критической ширины наивысшей террасы W_{crit} от обратной температуры (внизу).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Л. И. Федина.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КЛАСТЕРОВ НАНОКРИСТАЛЛОВ CdS, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЛЕНГМЮРА- БЛОДЖЕТТ НА ПОВЕРХНОСТИ SiO₂

К. А. Свит

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный технический университет

Одной из актуальных проблем физики низкоразмерных систем является задача изучения процессов формирования нанокристаллов на твердой подложке. В настоящее время большой интерес представляет изучение самоорганизации ансамблей нанокристаллов на поверхности диэлектрика. На основе таких структур могут создаваться различные элементы памяти, а также структуры представляют большой интерес для исследования одноэлектронных явлений.

Объектом исследования были выбраны нанокристаллы CdS, полученные методом Ленгмюра–Блоджетт на поверхности SiO₂. Изначально нанокристаллы при нанесении на подложку находятся в матрице бегеновой кислоты, для удаления матрицы использовался термический отжиг в атмосфере аммиака. Одной из главных задач являлось получение температурных зависимостей параметров кластеров. Для этих целей была создана группа образцов отожженных при различных температурах. Эти образцы исследовались методами: атомно-силовая микроскопия (АСМ), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) и фотолюминесценция. По данным ПЭВ была установлена кристаллическая структура нанокристаллов CdS. С помощью фотолюминесценции была установлена зависимость размера нанокристаллов от температуры отжига. Было обнаружено что нанокристаллы CdS формируют два типа кластеров: небольшие ленточные кластеры и крупные кластеры округлой формы. По данным АСМ была получена зависимость степени покрытия от температуры отжига, а также оценены вертикальные и латеральные размеры кластеров. С помощью данных СЭМ удалось различить отдельные нанокристаллы в составе кластеров и оценить их размеры, а также построить зависимость размеров крупных кластеров от температуры отжига.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук К. С. Журавлев.

ИЗУЧЕНИЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЛОЕ Cs НА ПОВЕРХНОСТИ GaAs МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КВАНТОВОГО ВЫХОДА ФОТОЭМИССИИ

И. Л. Сербин

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Первым этапом активирования GaAs(Cs,O) фотокатодов до состояния отрицательного электронного сродства является нанесение цезия на поверхность GaAs. Известно, что при нанесении цезия квантовый выход фотоэмиссии электронов в вакуум увеличивается вплоть до покрытий около половины монослоя, а затем начинает уменьшаться. Последующее включение цезиевого источника приводит к увеличению фототока. Причины такого поведения до сих пор не ясны и могут быть связаны с частичной десорбцией или с аккомодацией адатомов Cs на поверхности, в результате которой изменяются электронное сродство и вероятность выхода электронов в вакуум. Электронное сродство и вероятность выхода могут быть определены из спектров квантового выхода фотоэмиссии. Однако измерение спектров и сопоставление с расчетом затруднено из-за изменения параметров системы во время активирования и последующей релаксации. Чтобы решить эту проблему, было решено использовать методику непрерывного измерения спектров фотоэмиссии в процессе нанесения цезия и интерполяционной обработки массива данных. Эта методика, развитая ранее для спектроскопии фотоотражения, позволяет определять форму спектра, соответствующую любому заданному моменту времени. С целью определения электронной и атомной структуры исходной чистой поверхности GaAs(001), на первом этапе была экспериментально измерена форма спектров фотоэмиссии в ультрафиолетовой области спектра в зависимости от температуры прогрева в вакууме. Далее, с помощью интерполяционной методики изучена эволюция спектров квантового выхода фотоэмиссии при нанесении цезия на поверхность GaAs и в процессе релаксации поверхности Cs/GaAs после выключения цезиевого источника. Обсуждаются возможные причины изменения формы спектров, в том числе уменьшение вероятности выхода при больших u_{1094} цезиевых покрытиях в результате конденсации отдельных адатомов цезия в двумерные металлические островки и рассеяния импульса и энергии фотоэлектронов в этих островках.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Л. Альперович, канд. физ.-мат. наук, мл. науч. сотр. А. Г. Журавлев.

ДВИЖЕНИЕ ИЗОГНУТЫХ АТОМНЫХ СТУПЕНЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ Si(111) ПРИ СУБЛИМАЦИИ И ЭПИТАКСИАЛЬНОМ РОСТЕ

С. В. Ситников

Новосибирский государственный университет
Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

In situ методом сверхвысоковакуумной отражательной электронной микроскопии (СВВ ОЭМ) проведены исследования кинетики движения монокристаллических ступеней, ограничивающие концентрические двумерные отрицательные островки на поверхности Si(111). Предварительно на поверхности образца кремния вытравливалась лунка глубиной 5–20 мкм с помощью ионно-лучевого травления низкоэнергетичными ионами аргона (1–4 кэВ). Далее образцы помещались в камеру СВВ ОЭМ, где в процессе высокотемпературного отжига (1300 °С) на дне лунки формировались концентрические ступени, ограничивающие отрицательные двумерные островки. Размер сингулярных террас в зависимости от температуры отжига составлял от 10 (1190 °С) до 50 мкм (900 °С). Определены зависимости среднего диаметра островков d от времени отжига t при различных температурах на начальных стадиях зарождения островка в условиях сублимации и эпитаксиального роста. Показано, что в интервале температур 830–1000 °С $d \sim t^{1/3}$, а при 1000–1200 °С $d \sim t^{1/2}$. При эпитаксиальном росте в интервале температур 1000–1200 °С $d \sim t^{1/2}$. Обнаружено, что при быстром охлаждении (400 °С/с)

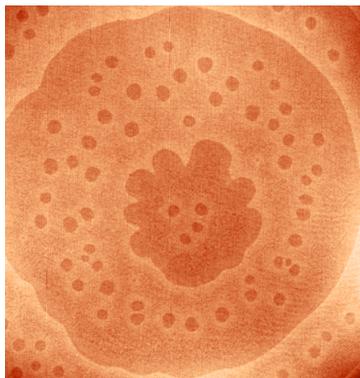


Рис. 1. АСМ-изображение (65x65 мкм²) дна лунки с концентрическими ступенями и отрицательными островками.

образца от температуры выше 1200 °С на широких террасах (> 10 мкм) между атомными ступенями образуются отрицательные островки монокристаллической глубины (рис. 1). Доля поверхности, занятой островками составила $0,06 \pm 0,01$ МС. Появление островков обусловлено увеличением концентрации точечных дефектов – вакансий при повышенных температурах. При быстром охлаждении на широких террасах вакансии не успевают встроиться в ступени, и объединяются в отрицательные островки. Полученные результаты обсуждаются в рамках расширенной теории Бартона-Кабреры-Франка, учитывающей влияние поверхностных

Научный руководитель – чл.-корр. РАН А. В. Латышев.

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Н. Ю. Снежко, Т. Н. Патрушева
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Одной из проблем полупроводниковой солнечной энергетики является проблема деградации кремния. В качестве модельного образца был выбран пористый кремний, который особенно подвержен окислению и деградации свойств.

В настоящей работе предложено использовать тонкие оксидные пленки фотоактивного материала для защиты кремниевых батарей. Тонкие плёнки нанокристаллов получают в процессе, известном как «спин-покрытие». Он включает размещение квантовых ячеек в виде раствора на плоском субстрате, который затем вращается с большой скоростью. Раствор распределяется равномерно, а субстрат вращается до тех пор, пока не будет достигнута требуемая толщина слоя.

Пассивация поверхности кремния фотоактивными оксидными пленками TiO_2 , обеспечивает защитный и самоочищающий эффект. Можно ожидать усиление фотоактивности при создании гетероструктур на основе пористого кремния и фотоактивных оксидных пленок, поскольку ширина запрещенной зоны TiO_2 составляет 3.2 эВ, а барьер для электронов на границе Si / TiO_2 — 1.0 эВ. Разница ширины запрещенной зоны кремния и оксида титана способствует прохождению света без поглощения через широкозонное «окно» оксида.

Установлено, что оптимальная температура отжига гетероструктуры $c\text{-Si} / \text{por-Si} / \text{Ti}_2\text{ZnO}_5$ 450 °С. Толщина защитной пленки является решающим фактором для производительности солнечных элементов. В наших экспериментах установлено, что оптимальная толщина пленки TiO_2 оказывается 50–60 нм. Применение тонкого защитного слоя не препятствует работе кремниевого солнечного элемента, тогда как дальнейшее повышение толщины защитной пленки на пористом кремнии приводит к снижению конверсионной эффективности.

Оптические спектры пропускания TiO_2 пленок толщиной 700 нм на стеклянной подложке показали, что средний коэффициент пропускания пленки TiO_2 превысил 70 % в видимой и ближней инфракрасной области.

Измерения тока короткого замыкания кремниевого элемента с защитным покрытием и без него показали повышенную на 14 % эффективность работы гетероструктурного элемента.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. Т. Н. Патрушева.

ЗАВИСИМОСТЬ СВЕТОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОДИОДОВ БЕЛОГО СВЕЧЕНИЯ ОТ ЛЮМИНОФОРОВ

В. С. Солдаткин, А. А. Вилисов, М. А. Васильева,
В. В. Дохтуров, К. В. Тепляков

Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

На сегодняшний день основной акцент в светотехнике ставится на светодиодные устройства. Наиболее эффективным, в системах освещения, являются применение светодиодов белого свечения получаемого на основе люминофора [1]. Объектом исследований в данной работе является индикаторный светодиод для поверхностного монтажа белого цвета свечения КИПД152 А9–Б. В отражатель смонтирован полупроводниковый чип из GaN/InGaN вертикального типа. Чип (кристалл) излучает оптическую мощность $P_e = 21 \text{ мВт}$ длиной волны $462.5 \pm 0.6 \text{ нм}$ при прямом постоянном токе $I_{пр} = 20 \text{ мА}$. Целью данной работы является исследование ряда фотолюминофоров различных длин волн излучения. На данный момент исследованы два типа фотолюминофора, возбуждаемые в спектральном диапазоне 460–465 нм с максимальными длинами волн излучения 600 нм и 650 нм.

В ходе исследования были изготовлены две партии светодиодов (по 20 шт.) по одному технологическому процессу, с применением одинаковых чипов, но с помощью двух типов люминесцентных компаундов. Параметры светодиодов были измерены в одинаковых условия при $T_{окр} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ и рабочем токе 20 мА и приведены ниже в таблице.

	600 нм		650 нм	
	I_v , кд	$T_{цв}$, $^\circ\text{K}$	I_v , кд	$T_{цв}$, $^\circ\text{K}$
Макс. значение	1.1	6500	1,43	3850
Средн. значение	1.0	6300	1,3	4300
Мин. значение	0,97	6000	1,17	4700

Примечание – цветовая температура T_c приведена в соответствии со значениями силы света для диода.

По результатам эксперимента можно сделать вывод – светодиоды, изготовленные с помощью люминофора с длиной волны излучения 650 нм, обладают тёплым оттенком белого свечения (3800 $^\circ\text{K}$) и излучают 1.3 кд, в отличие от светодиодов с люминесцентным компаундом (длина волны излучения 600 нм).

1. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. Под ред. А. Э. Юновича. 2-е издание. М. Физматлит, 2008. 496с.

Научный руководитель – д-р техн. наук А. А. Вилисов.

О ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНЕРЦИОННОСТИ РЕКОМБИНАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ ПО ДАННЫМ ВОЛЬТ- АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИТИКИ

В. Г. Стельмах

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

Как было показано в работах П. М. Карагеоргий-Алкалаева, А. Ю. Лейдерман [1] и А. Ю. Лейдерман, М. К. Минбаевой [2] в выражении для скорости рекомбинации:

$$U_R = N_R \frac{c_n c_p (pn - n_i^2)}{c_n (n + n_i) + c_p (p + p_i) + \chi \tau_i pn} \quad (1)$$

можно учитывать инерционность работы рекомбинационного центра введением члена $\chi \tau_i pn$, где τ_i – время, учитывающее те или иные процессы электронного обмена внутри рекомбинационного центра, χ – коэффициент, определяющий вероятность внутрирекомбинационного обмена, N_R – концентрация рекомбинационных центров (комплексов), p и n – концентрации дырок и электронов, n_i – собственная концентрация в полупроводнике, c_n и c_p – коэффициенты захватов электронов и дырок, n_i и p_i – статистические факторы Шокли-Рида.

Считая $n > p$, можно выражение (1) записать как $U_R \sim N_R c_p p (1 - \chi \tau_i p / c_n)$, и тогда самое простое уравнение, описывающее распределение концентрации свободных носителей в чисто диффузионном режиме $D_a d^2 p / dx^2 - U_R = 0$ принимает вид:

$$\frac{d^2 p}{dx^2} - \frac{N_R c_p}{D_a} p + \frac{N_R c_p \chi \tau_i}{D_a c_n} p^2 = 0 \quad (2)$$

где D_a – коэффициент амбиполярной диффузии.

Наличие члена с p^2 в (2), обусловленного инерционностью рекомбинационных центров, приводит к тому, что взамен обычной зависимости плотности силы тока от напряжения $J \sim U^2$ в вольт-амперной характеристике (ВАХ) р-п-структуры наблюдается зависимость $J \sim U^{2+w}$, где $w = 0.58 \chi \tau_i / c_n$. Таким образом, инерционность рекомбинационных центров $\chi \tau_i = 1.72 c_n w$, где w определяется из ВАХ р-п-структуры.

1. П. М. Карагеоргий-Алкалаев, А. Ю. Лейдерман. Рекомбинационные и релаксационные процессы в полупроводниках с примесными комплексами. В сб.: «Физика и материаловедение полупроводников с глубокими уровнями». М.: Металлургия, 1987, С237

2. А. Ю. Лейдерман, М. К. Минбаева, ФТП, т. 30, № 10, С. 1729–1738. 1996.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Ю. Лейдерман.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК Ge НА ПОВЕРХНОСТИ Si (100)

А. М. Турапин

Томский государственный университет

В настоящее время полупроводниковые гетероструктуры с квантовыми точками (КТ) все более широко используются в приборах оптоэлектроники. Основным методом получения структур с наноразмерными включениями является молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ).

Плотность электронных состояний ансамбля квантовых точек является ключевым вопросом как при рассмотрении КТ для приборных применений, так и при фундаментальных физических исследованиях. При размерах КТ порядка 10–15 нм расщепление дискретного уровня энергии становится достаточным для того чтобы обеспечить работу прибора при комнатной температуре. При этом поверхностная плотность квантовых точек, требуемая для приборных применений, должна составлять 10^{12} см^{-2} . Весьма перспективной в этой области является система материалов Ge/Si, которая помимо выполнения выше перечисленных условий, является совместимой с высокоразвитой кремниевой технологией интегральных микросхем.

Ключевым фактором образования nanoостровков является упругая деформация в эпитаксиальных плёнках, вызванная несогласованием кристаллических решёток. Поскольку образование КТ происходит самопроизвольно, их морфологией можно управлять только изменяя условия роста: температуру подложки, скорость напыления, количество напылённого материала.

В работе рассматривается зависимость параметров самоорганизующегося массива КТ Ge на поверхности Si (100) от условий роста. Выращивание экспериментальных образцов с КТ проводилось на установке МЛЭ «КАТУНЬ–100». Исследование поверхности полученных структур проводилось на атомно-силовом микроскопе NT–MDT SOLVER. В результате проведения ряда ростовых экспериментов в температурном диапазоне 300–700 °С, получены зависимости средних латеральных размеров и плотностей квантовых точек от температуры подложки.

Также в работе представлены результаты математического моделирования параметров массива КТ Ge в зависимости от условий роста, которые хорошо согласуются с данными, полученными экспериментальным путём.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. П. Коханенко.

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВЕТОДИОДОВ

К. В. Тепляков; А. А. Вилисов, В. С. Солдаткин

ОАО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов»,
г. Томск

В настоящее время промышленностью выпускается широкая номенклатура светодиодов и светотехнических изделий на их основе. При производстве светодиодов, как, впрочем, и других изделий, особую важность имеет разброс основных параметров изделий в технологической партии.

На величину разброса оптических и электрических величин у светодиодов оказывают влияние такие факторы, как наличие, форма и размер линзы, длина волны излучения, позиционирование кристалла в корпусе, форма и размер кристаллов, неточность настройки измерительной аппаратуры, погрешность измерений измерительной аппаратуры.

В данной работе представлены результаты измерения силы света, длины волны и падения прямого напряжения на светодиодах, как основы для определения стабильности технологического процесса. Для исследования были изготовлены две партии светодиодов на кристаллах Semiled размером (380 x 380) мкм в корпусе SMD3528 с номинальными длинами волн 507 нм и 520 нм в количестве 976 шт и 128 шт соответственно. Производителем кристаллов заявлено, что падение прямого напряжения должно находиться в диапазоне (3,0-3,3)В, сила света должна составлять (0,9-1,0)кд для первой партии и (1,0-1,1)кд для второй, разброс длины волны не превышает 5 нм. В результате измерения силы света, падения прямого напряжения и длины волны изготовленных диодов получены результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Разбросы параметров двух партий изготовленных диодов

Партия	Длина волны, нм	Сила света, кд	Падение напряжения, В
№ 1	503–511	0,87–1,19	2,9–3,3
№ 2	518–523	1,0–1,25	2,9–3,1

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что в пределах погрешности измерения приведенных параметров, технология изготовления светодиодов в корпусе SMD3528 является достаточно стабильной. Для уменьшения разброса силы света необходимо улучшить технологию заливки диодов линзами.

Научный руководитель – д-р техн. наук А. А. Вилисов.

О ПРИРОДЕ КВАДРАТИЧНОГО УЧАСТКА ВАХ В ИНЖЕКЦИОННЫХ РЕЖИМАХ

А. К. Утениязов

Каракалпакский государственный университет им. Бердаха,
г. Нукус, Узбекистан

Квадратичная зависимость тока от напряжения вида $I \sim V^2$ наблюдается во многих приборах и полупроводниковых структурах, изготовленных из самых различных полупроводниковых материалов – германия, кремния, арсенида галлия и других материалов группы A^3B^5 и A^2B^6 . Обычно считается, что эта характеристика связана с токами, ограниченными объёмным зарядом и должна описываться законом Ламперта $I \sim V^2/d^3$, где d – длина базовой области. Эта закономерность должна наблюдаться в полупроводниковых структурах с достаточно длинной базовой областью, когда отношение $d/L \sim 10$ и более (L – диффузионная длина неосновных носителей). Однако во многих случаях подобная зависимость наблюдается и в структурах с достаточно тонкой базой в широком интервале напряжений и температур. Нередко могут реализоваться и ситуации, когда на ВАХ в прямом направлении наблюдаются два квадратичных участка. В частности, такая ситуация реализуется в исследуемым нами структурах вида $Al-CdTe-Mo$, в которых после первого квадратичного участка наблюдается зависимость типа $V \sim \exp(-d/aL^2)$, предсказанная теоретически в [1], а затем появляется второй квадратичный участок. Здесь $a = 1/2 qD_nN_t$ – параметр, определяемый коэффициентом диффузии основных носителей и полной концентрацией центров прилипания. Эту ситуацию легко объяснить, если учесть, что в обычном диффузионном режиме двойной инжекции тоже возможно наблюдение характеристики типа $I \sim V^2$. Условием её наблюдения является наличие минимума в распределении концентрации неравновесных носителей в базе структуры: $p_{min} = p(o)^{1/2} p(d)^{1/2} \exp(d/2L)$.

Таким образом, легко представить себе, что сначала, при не очень больших напряжениях реализуется диффузионный квадратичный участок; затем, когда напряжение возрастает и становится существенным дрейфовый член основного уравнения задачи, появляется участок, на котором с ростом тока напряжение убывает и, наконец, при дальнейшем росте напряжения реализуется дрейфовый квадратичный режим, то есть появляется второй квадратичный участок.

1. Адирович Э. И., Карагеоргий-Алкалаев П. М., Лейдерман А. Ю. Токи двойной инжекции в полупроводниках. М.: Сов. радио. 1978. 324с.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Ю. Лейдерман.

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА АВТОМОДУЛЯЦИИ СОСТАВА ТВЕРДОГО РАСТВОРА GaAlAs ВЫРАЩЕННОГО МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВОЙ ЭПИТАКСИИ

С. А. Щербанев, А. К. Гутаковский

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Развитие современного материаловедения базируется на создании и исследовании новых материалов, среди которых важное место занимают полупроводниковые гетеросистемы. Наибольшее практическое применение получили гетероэпитаксиальные сверхрешетки GaAs / GaAlAs, характеризующиеся высоким структурным совершенством. Этот материал используется в полупроводниковых лазерах, работающих в непрерывном режиме, в полевых транзисторах с двумерным электронным газом, в фотоприемниках на квантовых ямах, в которых диапазон поглощения можно варьировать изменением толщины чередующихся слоев.

При росте пленок GaAlAs на подложке GaAs методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) часто наблюдается автомодуляция состава твердого раствора. Впервые этот эффект наблюдался в работе [1], в которой отмечалось, что автомодуляция возникает из-за вращения подложки в процессе МЛЭ. Присутствие такой дополнительной периодичности в кристалле может влиять на электрофизические и оптические свойства материала, поэтому установление причин этого эффекта и его параметров имеет научный и практический интерес.

В работе с помощью высокоразрешающей электронной микроскопии (ВРЭМ) исследовались поперечные срезы (110) и (100) многослойных гетеросистем GaAlAs – GaAs(001), выращенные методом МЛЭ. Из анализа ВРЭМ изображений установлена зависимость периода модуляции от частоты вращения. Для определения глубины модуляции использовалось моделирование теоретических ВРЭМ изображений и сопоставление их с экспериментальными данными. Дополнительно применялся метод темнопольной микроскопии с использованием структурно-чувствительных рефлексов {200}. Показано, что период модуляции состава является однородным по всей площади подложки и зависит от скорости её вращения. Глубина модуляции не является однородной и растёт от центра к периферии выращенного образца.

1. Naresh Chand, MBE growth of high-quality GaAs, Crystal growth, 97. 1989.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. К. Гутаковский.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ДЫРОК И ОПТИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ В СЛОЯХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК Ge, СФОРМИРОВАННЫХ НА ТВЕРДОМ РАСТВОРЕ Ge_xSi_{1-x}

С. С. Якушин

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Исследованы энергетический спектр и внутризонные оптические переходы дырок в слоях квантовых точек (КТ) Ge, сформированных на поверхности напряженной квантовой ямы Si_{0.65}Ge_{0.35}, встроенной, в свою очередь, в матрицу Si. Слоевая плотность КТ составляла величину $\sim 10^{11} \text{ см}^{-2}$, размеры точек в плоскости роста 12 нм. Структуры выращивались с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии. Показано, что процессы перезарядки КТ под действием внешнего переменного электрического поля обусловлены эмиссией дырок из КТ в двумерные состояния слоя твердого раствора Si_{0.65}Ge_{0.35}. Из измерений температурных и частотных зависимостей проводимости на переменном токе, определено положение основного состояния дырки в КТ, находящегося на ~ 160 мэВ ниже подзоны тяжелых дырок в квантовой яме Si_{0.65}Ge_{0.35}. В спектрах инфракрасного поглощения света исследуемых структур в среднем ИК диапазоне обнаружены две полосы. В результате сравнения экспериментальных данных и расчётов, выполненных в рамках б-зонного **k-p** метода, установлено, что длинноволновый резонанс (~ 140 мэВ) относится к переходам дырки с основного состояния в КТ в двумерные подзоны тяжёлых дырок в слое Si_{0.65}Ge_{0.35}. Показано, что поглощение вблизи 400 мэВ отвечает переходам дырки с основного состояния в КТ в непрерывный спектр валентной зоны кремния. Для обоих типов переходов определена величина сечения поглощения фотонов, равная $3.5 \times 10^{-15} \text{ см}^2$ и $0.6 \times 10^{-15} \text{ см}^2$, соответственно. Продемонстрировано, что фотоприемные элементы, реализованные на базе многослойных гетероструктур Ge / Si_{0.65}Ge_{0.35}/Si, обладают спектральной чувствительностью в диапазоне длин волн фотонов от 2 до 12 мкм.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук А. И. Якимов.

ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ^{11}B (^{16}O , ^{16}O) ^{11}B ПРИ ЭНЕРГИИ 28 МЭВ

Н. Амангельды¹, Д. М. Зазулин¹, А. А. Темербаев¹, Б. Мауей²,
А. Ж. Ильясова², Н. У. Эшбеков²

¹ Институт ядерной физики НЯЦ РК, г. Алматы, Казахстан

² Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана

Прогресс в изучении микромира связан с развитием новой ускорительной техники. Создание машин, ускоряющих тяжелые ионы, под которыми понимают положительно заряженные ионизованные атомы элементов тяжелее гелия, позволило использовать сами атомные ядра в качестве бомбардирующих снарядов для получения информации о структуре атомных ядер и механизмах взаимодействия ядер с ядрами.

Эксперимент выполнен на циклотроне ДС-60 для ускорения тяжелых ионов от Li до Xe с энергией от 0,35 до 1,77 МэВ / нуклон в здании междисциплинарного научно-исследовательского комплекса (Астана, Казахстан).

Ускорялся кислород и рассеивался на боре при 1,75 МэВ / нуклон. Были обработаны спектры упругого рассеяния в Maestro-32 для системы $^{16}\text{O} + ^{11}\text{B}$ в диапазоне углов от 10° до 70° (ЛС)

Получены дифференциальные сечения упругого рассеяния ионов кислорода на ядре ^{11}B .

1. Е. Е. Родионова. Квантовое и квазиклассическое описание упругого рассеяния ионов ^{16}O на ядре ^{12}C . // Автореферат, Санкт-Петербург, 2008.

2. М. К. Бактыбаев, Н. Буртебаев, и др. Исследование упругого рассеяния ионов кислорода на ядрах ^{12}C , ^{16}O при энергиях вблизи кулоновского барьера. // Тезисы докладов 7-й международной конференции "Ядерная и радиационная физика", Алматы, Казахстан, 2009

3. О. Ф. Немец, Ю. В. Гофман. Справочник по ядерной физике. // Киев, Наукова думка. 1975.

4. N. Burtabayev, V. P. Burminskiy, V. D. Berger, V. Jazairov-Kakhramanov, D. M. Zazulin, R. A. Zarifov. Multipurpose experimental unit based on heavy ion accelerator for research in radiation solid-state and nuclear physics. // Abstracts of 1. Eurasia conference on nuclear science and its application, 23-27 October. 2000. Izmir, Turkey.

5. А. Лейн и Р Томас. Теория ядерных реакций при низких энергиях. // М.: Издательство иностранной литературы. 1960.

6. С. М. Perey and F. G. Perey. Atomic Data and Nuclear Data Tables. 1976.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук проф. Н. Т. Буртебаев.

КОРРЕКЦИЯ ХРОМАТИЧЕСКИХ АБЕРРАЦИЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ НОВОСИБИРСКОГО ЛСЭ

А. В. Андрианов

Новосибирский государственный университет
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

Коррекция хроматических aberrаций в поворотах является важной задачей в оптимизации магнитной системы лазера на свободных электронах (ЛСЭ), работающего на основе линейного ускорителя с рекуперацией энергии. Из-за взаимодействия с излучением ЛСЭ, пучок приобретает энергетический разброс порядка 1–2 %, что на энергии в 20 МэВ для второй очереди и 40 МэВ для третьей очереди, что составляет соответственно 0.2–0.4 МэВ и 0.4–0.8 МэВ. После второго торможения, при работе на 3-ей энергия пучка уменьшается до 20 МэВ, при этом относительный энергетический разброс возрастает до 2–4 %. В неахроматическом повороте наличие энергетического разброса приводит к росту разброса по поперечным координатам и, следовательно, к увеличению эмиттанса. При этом возрастают потери пучка, что приводит к нагреву вакуумной камеры и ухудшению радиационной обстановки в операторском зале.

Для предотвращения этих проблем, в существующие квадрупольные линзы, в повороте, встраиваются корректирующие катушки, для получения секступольной компоненты поля, обладающей квадратичным спадом от краев к оси. Расчет корректора в квадруполе осуществлялся в программе Mermaid. После чего полученные поля, вместе с измеренными, использовались для трекинга. В программе для трекинга основной задачей является выставка токов в элементах, что в дальнейшем используется в реальных элементах на действующей установке.

Одним из параметров настройки программы является удвоение эмиттанса по прохождению поворота. Так же для обоснования работы проведен счет с отключенными секступолями и сделано сравнение полученных результатов. Расчет показал необходимость установки данных элементов на дорожках, особенно на первой, где энергетический разброс максимален и составляет 2–4 % для второй очереди и 4–8 % для третьей очереди.

Работа выполняется для квадрупольных линз двух типов. На данный момент произведена установка элементов на второй очереди. Эффект от установленных элементов измерен и оценен.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук О. А. Шевченко.

СИСТЕМА ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР В КАНАЛЕ ВЫВЕДЕННОГО ПУЧКА ВЭПП-4М

А. А. Бороденко
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

При создании детекторов для экспериментов по физике элементарных частиц на существующих и проектируемых ускорителях, таких как SuperB в Италии и Super c-т-фабрика в Новосибирске, существует потребность в проведении тестовых измерений с прототипами систем детектора на пучках электронов и гамма-квантов высоких энергий.

Для проведения подобных измерений в ИЯФ СО РАН (г. Новосибирск) ведутся работы по организации пучка электронов и гамма-квантов на базе электрон-позитронного коллайдера ВЭПП-4М. Электроны образуются по следующей схеме. В результате процесса тормозного излучения частиц пучка ВЭПП-4М на конвертере генерируются гамма-кванты, которые выводятся из вакуумной камеры ускорителя и в специальном помещении конвертируются в электрон-позитронные пары. С помощью магнита с полем $5\div 15$ кГс частицы определённого знака направляются на испытательный стенд. Импульс и координаты пролёта частиц измеряются спектрометрическим магнитом и системой дрейфовых камер.

Данная работа посвящена расчёту, проектированию, созданию и запуску в эксплуатацию системы дрейфовых камер в канале выведенного пучка ВЭПП-4М. Система состоит из 7 камер с дрейфовым промежутком 85 мм. Четыре дрейфовые камеры служат для измерения горизонтальной координаты и три – для измерения вертикальной координаты.

В результате проведённой работы дрейфовые камеры были спроектированы, изготовлены и протестированы на космических частицах. Были написаны модули медленного контроля напряжения и сбора данных, которые в настоящее время работают в общей системе сбора данных. Создана программа реконструкции траекторий и определения импульсов электронов пучка. В измерениях с космическими частицами и электронами выведенного пучка получено проектное пространственное разрешение камер во всём диапазоне рабочих импульсов, равное 500 мкм, что позволяет достичь проектного импульсного разрешения системы в 1%.

В настоящее время система дрейфовых камер запущена в эксплуатацию и используется для испытаний прототипа детектора черенковских колец с радиатором из фокусирующего азрогеля (ФАРИЧ), который предполагается использовать для системы идентификации планируемого детектора для Super c-т-фабрики в Новосибирске.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. Е. Блинов.

ГЛУБИНА МАКСИМУМА РАЗВИТИЯ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ, ВОССТАНОВЛЕННАЯ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ИЗЛУЧЕНИЯ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА НА ЯКУТСКОЙ УСТАНОВКЕ

Л. С. Васильева, С. П. Кнуренко

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю. Г. Шафера,
г. Якутск

Якутская установка широких атмосферных ливней (ШАЛ) эффективно контролирует область энергий от 10^{15} до $5 \cdot 10^{19}$ эВ. В этой же области энергий наблюдается две нерегулярности в энергетическом спектре космических лучей (КЛ) knee ($3 \cdot 10^{15}$ эВ) и ankle ($8 \cdot 10^{18}$ эВ). Природа этих нерегулярностей до сих пор не известна. Предполагается, что такая форма спектра может быть следствием существования галактической и внегалактической компонент в общем потоке космических лучей, т.е. должна существовать некая область в спектре КЛ, где интенсивности этих потоков сравниваются и затем убывают. Границы этой переходной области в энергетической шкале пока не известны и являются предметом исследований на крупных установках ШАЛ. Ответить на данный вопрос о границе перехода от галактических КЛ к метagalacticким КЛ поможет исследование массового состава КЛ на установках ШАЛ.

Известно, что глубина максимума X_{max} и флуктуации развития ШАЛ чувствительны к атомному номеру первичной частицы и по этой причине используются для оценки массового состава КЛ.

В основе определения X_{max} индивидуального ливня лежит методики, разработанные на Якутской установке и, использующие наблюдение черенковского света ШАЛ на разных расстояниях от оси ливня. Величина флуктуаций, определенная в разных интервалах по энергии может также характеризовать массовый состав КЛ при заданной энергии и в целом определять динамику изменения его с ростом энергии первичной частицы.

По измерениям пространственного распределения черенковского света ШАЛ и форме импульса черенковского излучения $\tau_{1/2}$ восстановлена глубина максимума и индивидуальных событий ШАЛ.

На основании анализа средних значений и флуктуаций X_{max} сделана оценка $\langle \ln A \rangle$, т.е. массового состава КЛ в интервале энергий 10^{17} – $3 \cdot 10^{19}$ эВ.

Проведено сравнение зависимости $\langle \ln A \rangle$ от энергий с расчетами, выполненными по модели, предполагающей сценарий формирования потока КЛ у Земли, за счет галактической и метagalacticкой компонент. Экспериментальные данные Якутской установки и установок HiRes и Auger не противоречат этой модели.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. П. Кнуренко.

СИСТЕМА ПИТАНИЯ РАЗВЕРТКИ ИМПУЛЬСНЫХ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ

А. Ю. Власов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

Начиная с 1970 года в Институте ядерной физики СО РАН разрабатываются и поставляются в промышленность импульсные линейные ускорители (ИЛУ), предназначенные для широкого применения в различных технологических процессах и рассчитанные на длительную непрерывную и круглосуточную работу в промышленных условиях. Ускорители типа ИЛУ предназначены для стерилизации различных медицинских изделий. Их отличительными особенностями являются простота конструкции, удобство эксплуатации и надежность при длительной работе в условиях промышленного производства. Наличие таких стерилизационных центров даст возможность малому и среднему бизнесу использовать высокотехнологичное, экологически чистое производство стерилизации, даст преимущество отечественным производителям качественных одноразовых медицинских изделий и поможет перенести часть производства импортных стерильных изделий на российскую территорию.

Процесс радиационной обработки осуществляется электронами или гамма квантами с энергиями до 10 МэВ. Пучок электронов, проходя электрическое поле резонатора, ускоряется до определенной энергии, после чего он сканируется и выпускается в атмосферу через выпускное окно закрытое титановой фольгой. Сканирование пучка необходимо, чтобы обеспечить равномерность облучения продукции по всей поверхности раструба.

В связи с тем, что возросли требования по равномерности дозы облучения с $\pm 10\%$ до $\pm 5\%$, возникла проблема в модернизации системы питания развертки. Для решения данной проблемы необходимо ввести дополнительное корректирующее магнитное поле специальной формы, что позволяет корректировать направление движения пучка, и тем самым обеспечивать равномерность дозы облучаемой продукции. Система коррекции включает в себя формирователь сигнала тока и усилителя мощности с усилением сигнала до амплитудного значения тока в 70 А.

Система питания развертки представляет собой сложную систему высоковольтных источников питания больших мощностей. Поэтому для разработки надежной и качественной системы с коррекцией пучка существует ряд различных проблем, которые связаны с созданием высоковольтных источников большой мощности, а так же различными переходными процессами корректирующих токов.

Научный руководитель – канд. техн. наук А. А. Брызгин.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СМЕШИВАНИЯ D-МЕЗОНОВ С ДЕТЕКТОРОМ BELLE

В. С. Воробьев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Изучение механизмов CP-нарушения является важной задачей современной физики элементарных частиц. В последнее десятилетие был достигнут большой экспериментальный прогресс в этом направлении. В экспериментах ВаВаг и Belle было детально изучено CP-нарушение в распадах В-мезонов и установлено, что все проявления CP-нарушения согласуются с моделью Кобаяши-Маскавы. Следующим этапом в изучении CP-нарушения должны стать эксперименты с большей статистикой – супер В-фабрики и супер с-tau-фабрики. Кроме того, представляет интерес исследование проявлений CP-нарушения в других системах, в частности, в очарованных мезонах, для которых модель Кобаяши-Маскавы предсказывает крайне малую величину CP-нарушения.

Авторами был предложен метод измерения CP-нарушения в смешивании D-мезонов и параметров смешивания D-мезонов, основанный на изучении трехчастичных распадов нейтральных D-мезонов [1]. Особенностью метода является использование время-зависимого анализа бинированных диаграмм Далица. Этот подход позволяет избежать неопределенностей, связанных с моделью амплитуды трехчастичного распада и, таким образом, проводить модельно-независимые измерения. Необходимые экспериментальные данные для выполнения такого анализа могут быть получены на асимметричной В-фабрике.

В данной работе предложенный метод разработан более детально, с учетом особенностей реального детектора и возможных систематических эффектов. Также, получены предварительные результаты измерения параметров смешивания D-мезонов с детектором Belle.

1. A. Bondar, A. Poluektov, V. Vorobiev. Charm mixing in a model-independent analysis of correlated D^0 – anti- D^0 decays, Phys. Rev. D82, 034033 (2010).

Научный руководитель – член-корр. РАН, проф. А. Е. Бондарь.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ КИКЕР

В. В. Гамбарян

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

В ИЯФ прорабатывается проект высокочастотного кикера, для пучков большой мощности. Параметры пучка — энергия — 20 МэВ, ток — 10 кА.

В качестве решения предложена необыкновенная конструкция. Вместо, обычно используемых в кикерах пластин в качестве электродов, предложено использовать сравнительно тонкие проволоки — отношение диаметра проволок к апертуре составляет 1:80. Проволоки распределены таким образом, чтобы распределение плотности тока примерно соответствовало распределению тока в электромагните с косинусной обмоткой. В конструкции с использованием проволок эффекты, вызванные взаимодействием электродов с полями, наведенными пучком, будут проявляться в меньшей степени, чем в конструкции со сплошными пластинами.

Удалось найти такое расположение проволок и форму их сечения такую, что внутри апертуры 4 см, однородность поля равна 0.5%. Проволоки расположены симметрично относительно центральной оси кикера, на расстоянии 2 см от него. Достаточно использовать семь пар проволок. Диаметр внешних стенок составляет 8 см. Время установления поля рабочего значения поля в кикере должно быть 5 нс. Для отклонения пучка, с заданной энергией, на угол порядка 2 градуса, необходимо поле порядка 10 мкТл (100 Гс), для длины кикера 30 см, что соответствует суммарному току в обмотках по 1 кА. Волновое сопротивление кикера порядка 30 Ом. Следовательно мощность модуляторов, питающих кикер, должна быть порядка 30 кВт.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. А. А. Старостенко.

ПРОГРАММА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С МОНИТОРОВ ГАЗОВОЙ СМЕСИ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ГАЗА С СНД ДЛЯ ВЭПП-2000

К. А. Гревцов, И. К. Сурин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

Широкий класс экспериментов по физике элементарных частиц проводится на крупных установках – коллайдерах, с использованием современных комплексов систем регистрации частиц и излучений, называемых детекторами. Длительный и непрерывный характер проводимых экспериментов предъявляет жесткие требования к долговременной надежности и эффективности работы систем детектора, стабильности его параметров.

На протяжении десятков лет детекторы на основе газовых смесей являются ключевыми элементами многих детектирующих систем. Пропорциональные, дрейфовые, стримерные камеры используются для измерения параметров треков заряженных частиц, решения задач идентификации частиц. Поскольку даже незначительное изменение параметров газовой смеси может привести к заметному изменению регистрирующих свойств детектора, требуется обеспечивать непрерывный контроль параметров газовой смеси.

Для контроля газовой смеси в трековой и мюонной системах СНД (Сферический Нейтральный Детектор) используются мониторы (МГС). Монитор представляет собой пропорциональную камеру с дрейфовым промежутком. Камера облучается изотопом ^{55}Fe , установленным на специальном передвижном механизме. Организован сбор и обработка данных с МГС, в результате определяются коэффициент газового усиления (КГУ), амплитудное разрешение, длина поглощения. Дополнительно измеряется давление газовой смеси. Все параметры записываются в базу данных эксперимента СНД, откуда доступны оператору и экспертам.

Начиная с декабря 2010 г., система мониторинга находится в режиме непрерывной эксплуатации и обеспечивает регулярный контроль параметров рабочего газа. По данным мониторов стабильность КГУ не хуже 30 %, длина поглощения не менее 15 см.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. В. Васильев.

РОЛЬ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ В ПРОЦЕССЕ $e^+e^- \rightarrow K\bar{K}\pi$

В. Л. Иванов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В современной физике элементарных частиц важным направлением исследований является дальнейшая проверка Стандартной Модели (СМ) и поиск явлений за её пределами. Замечательную возможность для проверки правильности предсказаний СМ предоставляет эксперимент по измерению величины аномального магнитного момента мюона (АМММ), проведенный в Брукхейвенской Национальной Лаборатории. Экспериментальное значение отличается от теоретического предсказания на 3.6 (для расчета, использующего данные о сечениях электрон-позитронной аннигиляции в адроны) и 2.4 (для расчета, использующего данные о распадах тау-лептона) стандартных отклонения [2]. Актуальность поиска возможных причин наблюдаемого отклонения обусловлена тем, что оно вызвано либо ошибками эксперимента или расчетов, либо проявлением эффектов, не описываемых Стандартной Моделью.

Теоретический расчет вклада в АМММ от адронной поляризации вакуума использует данные о сечении электрон-позитронной аннигиляции в адроны. При энергиях в системе центра масс электрон-позитронной пары ниже 2 ГэВ измеряются эксклюзивные сечения аннигиляции. Одним из таких эксклюзивных сечений является сечение процесса $e^+e^- \rightarrow K\bar{K}\pi$. При этом ранее не учитывалась возможная роль интерференции между различными промежуточными состояниями в этом процессе, например, $e^+e^- \rightarrow \phi\pi^0$ и $e^+e^- \rightarrow K^*K$. Учет интерференции может привести к заметному изменению вклада данного процесса в величину АМММ.

В работе вычислено сечение данного процесса с учетом интерференции между различными промежуточными состояниями. Амплитуды переходов записаны в общем виде и содержат неизвестные параметры, характеризующие относительный вклад различных состояний.

1. M. Davier, S. Eidelman, A. Höcker and Z. Zhang, *Eur. Phys. J.* **C27** (2003) 497.

2. M. Davier et al., *Eur. Phys. J.* **C71** (2011) 1515.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук проф. С. И. Эйдельман.

ФИЗИКА ТЯЖЁЛЫХ КВАРКОВ В КХД

А. Ю. Лохов

Новосибирский государственный университет
Ecole Polytechnique, г. Париж, Франция

На сегодняшний день хорошо установлено, что состояния сильно взаимодействующих частиц, адронов, описываются квантовой хромодинамикой (КХД), однако свойства этих состояний поняты лишь на качественном уровне. При изучении структуры адронов приходится иметь дело с мягкими (длинноволновыми) степенями свободы, описание которых требует выхода за рамки теории возмущений. Тяжёлые кварки являются одним из лучших инструментов для изучения мягких взаимодействий внутри адронов. Понимание физики адронов, содержащих тяжёлые кварки, станет важным шагом к исследованиям непертурбативной динамики мягких степеней свободы.

В работе рассматриваются избранные задачи физики тяжёлых кварков. Используя формализм эффективной теории тяжёлых кварков (HQET), показано, что мягкие глюонные взаимодействия внутри адронных состояний факторизуются в Вильсоновские линии, усреднённые по мягкой компоненте адронов. Найдено соответствие между известной функцией Изгура-Вайса и усреднённой Вильсоновской петлёй. Показано, что одна и та же универсальная функция определяет аномальную размерность в HQET и ренормализационные свойства усреднённых Вильсоновских петель, вычисленных вдоль классической траектории тяжёлого кварка. Проведено вычисление этой универсальной функции и коэффициентной функции соответствия между HQET и КХД в одной петле. Эти результаты были получены за последние двадцать лет и могут быть найдены в современной литературе по физике тяжёлых кварков.

Развитые результаты применены к изучению упругого рассеяния V -мезонов в пределе тяжёлого кварка. Оказывается, что амплитуда рассеяния контролируется ренормализационными свойствами так называемых особенностей пересечения Вильсоновских петель. Используя этот факт, впервые вычислена соответствующая матрица аномальных размерностей. Амплитуду рассеяния удаётся выразить через форм-факторы Изгура-Вайса в пределе бесконечного числа цветов. Коэффициентные функции соответствия посчитаны в однопетлевом приближении. Несмотря на очевидные экспериментальные трудности, связанные с изучением упругого рассеяния мезонов, полученные результаты в будущем могут найти применение в феноменологии V -мезонов.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук А. Г. Грозин,
д-р физ.-мат. наук Г. П. Корчемский.

INVESTIGATION OF NUCLEAR COMPOSITION OF THE INITIAL COSMIC RAYS IN THE REGION OF ENERGY HIGHER THAN $10^{15} - 10^{16}$ eV

Z. D. Mirtoshev

Alisher Navoi Samarkand State University

The results of the investigation of nuclear composition of initial cosmic rays (ICR), in the region of energy $10^{15} - 10^{16}$ eV are examined by the method of the study of fluctuation in the number of particles in EAS on the basis of the registration of the stream of Cherenkovs fluctuation.

The character of the investigated fluctuations is susceptible to the model of development of EAS and to the composition of initial cosmic radiation. In the time of fixation E_0 and by good exactness in the definition of E_0 and Ne one can ask about the definition according to these data of nuclear composition of ICR. The showers in which the meaning of the stream of Cherenkovs radiation at 100 m distance from the axis of the shower (Q_{100}) lay within the limits of 20 – 40 *protons/(cm² · eV)* were chosen. The average energy of these showers makes up $3 \cdot 10^{15}$ eV.

The experimental data about the fluctuations of the number of particles in the showers with fixed E_0 is compared with the results of calculations by the model of quark gluon strings, carried out for mixed structure ICR (40 percent of photons, by 15 percent of nucleus like $A=4$, $A=15$, $A=31$, $A=56$).

The deflection $VD \sqrt{D(\lg Ne)} = 0,31 \pm 0,01$ (for cleanly proton structure) received by this way $\sqrt{D(\lg Ne)} = 0,31 \pm 0,01$.

It is shown that on the basis of comparison of calculated and experimental data the best consent of the calculation and experiment is got by mixed structure of ICR.

1. M. Nagano, T. Hara, Hatano et al. Energy spectrum of primary cosmic rays between $10^{14,5} - 10^{18}$ eV. I. Phys. G. Nucl. Phys. 1984. V.10. p. 1295-1310

2. S. N. Nikolsky The energy of various components of extensive air showers and energy spectrum of primary cosmic radiation. P. 5 th. JCRC La. Pas. 1987. V.8. p. 48-52

3. A. T. Bower et al. The energy spectrum of cosmic rays showers $2 \cdot 10^{17}$ eV. P. 17th Paris, 1981. V.9. p. 166-169

4. B. M. Makhmudov, T. A. Alimov etc. Proc. AS USSR, ser. phys. – 1985. V. 49. p. 1347

Scientific advisor – dr phys.-mat. sciences, prof. B. M. Makhmudov.

ПРОЕКТ МОДУЛЬНОГО ИМПУЛЬСНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ТРАНЗИСТОРНЫМ ИСТОЧНИКОМ ВЧ ЭНЕРГИИ

А. А. Мурасев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

Существующие промышленные ускорители электронов, используемые для радиационных технологий, имеют жестко заданную ускоряющую структуру и, как следствие, ограниченный диапазон энергии. Увеличение максимальной энергии пучка на ускорителе, находящемся в эксплуатации невозможно, т.к. это потребует полного изменения ускоряющей структуры и системы ВЧ питания для нее. Использование унифицированного ускоряющего модуля, состоящего из резонатора с источником высокочастотной (ВЧ) энергии обладает многими достоинствами.

Модульность конструкции ускорителя позволит легко увеличивать энергию пучка увеличением числа ускоряющих модулей. Анализируя параметры существующих промышленных ускорителей, можно положить энергию одного ускоряющего модуля ~ 1 МэВ.

Для питания такого модуля необходим источник ВЧ энергии с выходной мощностью ~ 700 кВт. В последнее время практикуется частичная замена мощных ламповых генераторов транзисторными твердотельными усилителями [1]. Основой такого усилителя служит мощный транзистор на основе SiC. Современная микроэлектронная промышленность освоила производство кремний-углеродных (SiC) транзисторов с выходной мощностью 2.2 кВт в импульсном режиме. Используя 4 транзистора можно получить усилительный модуль с выходной мощностью ~ 9 кВт. Для получения требуемой мощности с использованием усилительных модулей на 9 кВт потребуется примерно 80 модулей.

Модульность ускоряющей структуры и независимость ВЧ источников питания каждого ускоряющего модуля позволят ускорять не только пучки электронов, но также и ионные пучки, что позволит использовать ускоритель не только в промышленности, но и в фундаментальных исследованиях.

Возможность независимой установки фаз для каждого ускорительного модуля позволит работать с различными ионами, не изменяя при этом саму ускоряющую структуру.

1. Marci Di Giacomo, Solid state RF amplifiers for accelerator applications, GANIL-SPIRAL2, France

Научный руководитель – канд. техн. наук, Г. Я. Куркин.

РАСПАДЫ $K_{l3\gamma}^+$ И $K_{l3\gamma}^0$:
ПАРЦИАЛЬНЫЕ ШИРИНЫ
И Т-НЕЧЁТНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ

А. С. Руденко

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

В распадах $K^+ \rightarrow \pi^0 l^+ \nu_l \gamma$ и $K^0 \rightarrow \pi^- l^+ \nu_l \gamma$ ($l = e, \mu$) из-за электромагнитного взаимодействия в конечном состоянии возникают Т-нечётные тройные импульсные корреляции $\xi = \vec{q} \cdot [\vec{p}_l \times \vec{p}_\pi] / M_K^3$ (здесь M_K – масса К-мезона, \vec{q} , \vec{p}_l , \vec{p}_π – импульсы фотона, лептона и π -мезона, соответственно). Важно оценить величину этих корреляций, так как в них могут также давать вклад новые СР-нечётные эффекты за пределами Стандартной Модели.

При расчёте точно учтены вклады порядка ω^{-1} и ω^0 (ω – энергия фотона). Вклады же порядка ω и выше не могут быть фиксированы модельно-независимым образом. Однако показано, что поправки порядка ω к парциальным ширинам малы, и их можно не учитывать. Полученные результаты для парциальных ширин хорошо согласуются с предыдущими результатами [1].

В эксперименте измеряется не тройная импульсная корреляция сама по себе, а асимметрия: $A_\xi = (N_+ - N_-) / (N_+ + N_-)$, где N_+ и N_- – число событий с $\xi > 0$ и $\xi < 0$, соответственно. Вклады порядка ω в асимметрию оценить трудно, поэтому точность результата в этом случае неясна. Асимметрия была ранее вычислена теоретически [2] и измерена экспериментально [3, 4] только для $K_{l3\gamma}^+$ распада. Наши результаты превышают предыдущие [2] в 1.5 – 2 раза. Чувствительность эксперимента составляет $\sim 10^{-2}$, что далеко от теоретических результатов ($\sim 10^{-4}$). Для $K_{l3\gamma}^0$ распада асимметрия также составляет $\sim 10^{-4}$ для $l = \mu$, но существенно больше $\sim 7 \cdot 10^{-3}$ для $l = e$, что уже близко к чувствительности эксперимента.

-
1. J. Bijnens, G. Ecker, and J. Gasser, Nucl. Phys. B 396, 81 (1993).
 2. V. V. Braguta, A. A. Likhoded, A. E. Chalov, Phys. Rev. D 65, 054038 (2002).
 3. S. A. Akimenko *et al.*, Phys. Atom. Nucl. 70, 702 (2007).
 4. O. G. Tchikilev *et al.*, Phys. Atom. Nucl. 70, 29 (2007).

Научный руководитель – чл.-корр. РАН И. Б. Хриплович.

ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СВЕТИМОСТИ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОГО КОЛЛАЙДЕРА ВЭПП-2000

А. Е. Рыжененков, Д. Н. Шемякин
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В институте ядерной физики им. Г. И. Будкера начал работать коллайдер ВЭПП-2000 [1] со встречными электрон-позитронными пучками с энергией до 2 ГэВ в с.ц.м. Благодаря использованию новой ускорительной методики «круглых» пучков на нем достигнута светимость на порядок больше чем на коллайдере предыдущего поколения ВЭПП-2М. При энергии 2 ГэВ ожидаемая светимость составит $L = 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Коллайдер ВЭПП-2000 позволит решать многочисленные физические задачи: прецизионное измерение фундаментальных констант, изучение эксклюзивных процессов рождения адронов и прецизионное измерение их сечений.

Для получения сечений исследуемых процессов по числу зарегистрированных событий необходимо знать интеграл светимости e^+e^- взаимодействий. На ускорительном комплексе будут изучаться сечения аннигиляции e^+e^- в адроны с предполагаемой точностью 1–2 % для энергий до 1.4 ГэВ и 2–3 % в диапазоне энергий от 1.4 до 2 ГэВ. Отсюда следует точность определения интеграла светимости должна лучше в несколько раз.

В этой работе светимость на детекторе КМД-3 определяется по процессам $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$, $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ и $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$, поскольку их сечения хорошо известны и радиационные поправки вычислены в квантовой электродинамике с достаточно высокой точностью.

Систематическая ошибка в величине светимости определяется точностью расчета радиационных поправок, неопределенностью калибровки телесного угла, погрешностью разделения частиц и эффективности дрейфовой камеры и Z-камеры.

В работе была измерена светимость для заходов 2010 года (Ф-мезон) и для эксперимента SCAN 2011.

1. Ю. М. Шатунов и др., Project of a new electron positron collider VEPP-2000. Proc. of EPAC-00, Vienna, 2000, p. 439.

2. G. V. Fedotovitch [CMD-3 Collaboration], CMD-3 Detector For VEPP-2000. Nucl. Phys. Proc. Suppl. 162, 2006, 332.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Г. В. Федотович.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ТРЕХКАСКАДНОГО ГЭУ

В. С. Тараненко

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН на установке ВЭПП-4М с детектором КЕДР действует система регистрации рассеянных электронов (СРРЭ) для изучения двухфотонных процессов. Главной задачей СРРЭ является измерение полного сечения двухфотонного образования адронов, а также изучение С-четных частиц и поиск экзотических состояний (глюболы, четырехкварковые состояния, миктоны). Эта система позволяет регистрировать оба рассеянных электрона, вылетевших из места встречи, и измерять с хорошей точностью их поперечную координату, необходимую для восстановления импульса.

СРРЭ на основе дрейфовых трубок была создана в середине 90-ых годов, но с 2010-ого она дополнена детекторами на основе трехкаскадного газового электронного умножителя (ГЭУ), что позволило улучшить пространственное разрешение с 300 мкм до порядка 70-80 мкм и измерять одновременно две координаты регистрируемых частиц. Соответственно, чтобы понять предельные возможности этих детекторов, необходимо измерить с достаточно хорошей точностью их пространственное разрешение и эффективность регистрации.

В рамках этой работы с помощью пакета FLUKA было произведено моделирование прохождения пучка электронов с энергией 1 ГэВ через детектор на основе ГЭУ, получено распределение энергии в регистрирующем слое ГЭУ, изучены процессы, происходящие при этом.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Л. И. Шехтман.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СГУСТКА ЭЛЕКТРОНОВ В ТРИОДЕ С ВИРТУАЛЬНЫМ КАТОДОМ

А. А. Тимофеев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

В свете решения вопроса об использовании всех возможностей сильноточных ускорителей для повышения мощности генерируемых импульсов электромагнитного излучения наиболее перспективными являются приборы на основе систем с виртуальным катодом (ВК).

Отличительной особенностью систем с ВК является способность генерировать электромагнитные колебания только при токах электронного пучка выше предельного вакуумного, когда выполняется условие формирования ВК. Эти приборы имеют такие достоинства, как перестройка по частоте, формирование мощных электромагнитных импульсов большой длительности, конструктивная простота и компактность. Перечисленные достоинства приборов на основе систем с ВК делают их конкурентоспособными, а в ряде случаев и незаменимыми при использовании в ускорительной технике, радиолокации, физических исследованиях по взаимодействию электромагнитных волн с плазмой и ее нагреву, воздействию мощных потоков излучения на вещество и биологические объекты и в других областях.

Одним из классов приборов с ВК являются приборы, в которых отсутствуют пролетные частицы. В них электроны совершают только осцилляторное движение между реальным и виртуальным катодами. Эти приборы называются триодами с ВК.

В работе приведены результаты аналитического исследования мощности излучения сгустка электронов, совершающих колебания. Расчет производится методом разложения поля, генерируемого при колебании электронного пучка, по полной ортонормированной системе собственных функций резонатора с идеально проводящими стенками. Получена формула для расчета, а также найдены условия максимума мощности излучения.

1. Диденко А. Н., Григорьев В. П., Жерлицын А. Г. Генерация электромагнитных колебаний в системах с виртуальным катодом // В сб.: Плазменная электроника // Под ред. В. И. Курилко. – Киев: Наукова думка, 1989.

2. Григорьев В. П., Коваль Т. В. Теория генерации электромагнитных колебаний в системах с виртуальным катодом // Известия вузов. Физика. – 1998. – № 4.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. П. Григорьев.

РЕЗОНАНСНОЕ РАССЕЯНИЕ В МЕЗОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ФЕРМИОНОВ. ФАКТОР УСИЛЕНИЯ СЕЧЕНИЯ В УПРУГОМ КАНАЛЕ ВНЕ КВАЗИКЛАССИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ

Я. А. Харьков

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Задачи рассеяния в квантовых системах со сложной внутренней структурой повсеместно возникают как в ядерной физике, так и в физике твердого тела. К ним, например, относятся нуклон-ядерное рассеяние, а также электронный транспорт через мезоскопические структуры (квантовые точки). Одними из наиболее интересных наблюдаемых в таких задачах являются средние величины автокорреляторов S -матрицы, которые могут быть вычислены с использованием техники случайных матриц. В квазиклассической области, в случае, если динамика системы, на которой производится рассеяние, обладает T -инвариантностью, существует фактор усиления упругого сечения, по сравнению с неупругим, равный двум [1]. Если же рассеяние существенно квантовое, этот фактор оказывается близким к трем [2,3].

В сравнительно недавнем исследовании [4] численно был получен результат для этого фактора в задаче рассеяния в системе взаимодействующих фермионов в рамках модели резонансного рассеяния через “компаунд-ядро”. Предполагая парность остаточного (за вычетом самосогласованного поля) фермион-фермионного взаимодействия, а также случайность амплитуд связи состояний континуума с внутренними состояниями компаунд-ядра, было получено значение для фактора усиления упругого сечения вне квазиклассической области также близкое к трем и зависящее от величины силы парного взаимодействия.

В данной работе мы аналитически вычисляем (в рамках тех же предположений) среднюю матрицу рассеяния, а также средние сечения, из которых можно извлечь информацию о факторе усиления упругого канала.

-
1. W. Hauser and H. Feshbach, Phys. Rev. 87, 366 (1952).
 2. J. J. M. Verbaarschot, H. A. Weidenmuller and M. R. Zirnbauer, Phys. Rep. 6, 129 (1985).
 3. J. J. M. Verbaarschot, Ann. Phys. 168, 368 (1986)
 4. G. L. Celardo, F. M. Izrailev, V. G. Zelevinsky and G. P. Berman, Phys. Rev. E 76, 031119 (2007).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. В. Соколов.

СИСТЕМА ВЫПУСКА ПУЧКА ДЛЯ УСКОРИТЕЛЕЙ СЕРИИ ИЛУ

Е. А. Штарклев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

В последнее десятилетие приобрело большое значение внедрение эффективных, экологически чистых и экономичных методов стерилизации медицинских изделий однократного использования. В России ежегодно стерилизуется 1,5 млрд. медицинских изделий 80 различных наименований, причем рынок радиационно-стерилизованной одноразовой медицинской продукции активно развивается.

Институт ядерной физики СО РАН разрабатывает и производит импульсные высокочастотные линейные ускорители электронов типа ИЛУ для применения их в промышленных и исследовательских радиационно-технологических установках. При радиационной стерилизации с использованием промышленного ускорителя используются разогнанные до световых скоростей электроны с энергией от 2.5 до 10.0 МэВ и мощностью до 100 кВт. Они обладают достаточной проникающей способностью для стерилизации медицинских изделий непосредственно в потребительской таре. На основе ускорителей серии ИЛУ планируется разработка и строительство комплексов для радиационной стерилизации медицинских изделий и обеззараживания медицинских отходов.

Для выпуска в атмосферу ускоренный пучок электронов сканируется на требуемые размеры облучаемого объекта. Конструктивно для этого, как правило, используется треугольная металлическая вакуумная камера (раструб): сканирующий электромагнит расположен в вершине треугольника, а выпускное окно на противоположной стороне. Однако, жесткие требования к равномерности выходной плотности тока электронных ускорителей (не хуже $\pm 5\%$) подразумевают подробное рассмотрение вопросов, связанных с работой выпускного устройства.

В данной работе основное внимание уделяется формированию требуемого дозного поля на выходе из ускорителя. Для этого учитывается влияние на форму сканирующего магнитного поля процессов, происходящих в металлических стенках вакуумной камеры сканирования пучка. Также проводятся теоретические расчеты электронных траекторий в выпускном тракте, на основе которых подбираются геометрические и электронно-оптические параметры всех элементов выпускного канала. Получен расчетный выходной пучок электронов с энергией 10 МэВ, обладающий одинаковыми угловыми характеристиками и имеющий равномерное распределение плотности тока.

Научный руководитель – канд. техн. наук В. М. Радченко.

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

МЕТОД АДАПТИВНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ МНОГОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ

Е. В. Беликов

Владимирский государственный университет

В широкополосных каналах передачи цифровых сигналов характерным видом искажений являются частотно-селективные замирания [1, 2]. Одним из путей борьбы с негативными последствиями этого является использование OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), однако многочастотная передача для борьбы с подобными помехами эффективна и при значительно меньшем числе поднесущих, и без требования их ортогональности [3].

Общим недостатком многочастотного метода передачи является значительный уровень пик-фактора, однако при небольшом количестве несущих при бинарных цифровых сигналах влияние этого недостатка можно значительно ослабить с помощью адаптивного совместного детектирования совокупности принятых многочастотных сигналов. На передающей стороне групповой сигнал подвергается глубокому ограничению, подобная процедура вносит значительные взаимные помехи в частотные каналы. Однако степень ограничения известна на приемной стороне и поскольку передаваемые сигналы – бинарные, то при любом варианте набора передаваемых символов заранее известен уровень искажений, вносимых в каждый канал при каждом варианте. Детектирование производится совместно во всех каналах при взаимном учете поправок частных пороговых уровней.

При более простом линейном совместном детектировании это осуществляется с помощью предварительной матричной обработки. Более сложный, но и более эффективный метод требует решения системы нелинейных уравнений. Адаптивное детектирование позволяет значительно улучшить энергетические показатели при передаче сигналов, тем самым повысить помехоустойчивость и надежность связи.

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. 1104с.

2. Полушин П. А. Избыточность сигналов в радиосвязи // П. А. Полушин, А. Г. Самойлов. М.: Радиотехника, 2007. 256с.

3. Никитин О. Р. Повышение скорости передачи информации в каналах с рассеянием по времени // О. Р. Никитин, П. А. Полушин, М. В. Гиршевич, В. А. Пятов. Информация и космос, №3, 2009. С. 21–23.

Научный руководитель – д-р. техн. наук, проф. П. А. Полушин.

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДИНАМИКИ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ СБОРА ДААННЫХ ДЕТЕКТОРА СНД

Е. А. Власенко

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в Институте ядерной физики на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 с энергией пучков в системе центра масс до 2 ГэВ работает детектор СНД. Как для оператора детектора, так и для физиков, анализирующих данные, важно визуальное отображение динамики контролируемых параметров системы сбора данных детектора. Целью данной работы является создание веб-приложения для графического представления и сравнения данных, регистрируемых детектором.

Программа визуализации должна работать в режиме реального времени для нужд оператора детектора, и предоставлять удобный интерфейс доступа к истории изменений параметров системы сбора данных, полученных с детектора.

При реализации веб-приложения были выбраны для серверной части язык программирования PHP, для клиентской — JavaScript. Произведён сравнительный анализ существующих JavaScript библиотек. Для отображения графика выбрана библиотека «Plot», для реализации интерфейса пользователя выбрана JavaScript библиотека «jQuery».

В первой половине 2011 года планируется реализация приложения в полном объеме.

Научный руководитель – А. Г. Богданчиков.

ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ И ОТСЛЕЖИВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ СБОРА ДАННЫХ ДЕТЕКТОРА КМД-3

С. Е. Гаязов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В Институте ядерной физики СО РАН [1] на ускорительном комплексе ВЭПП-2000 [2] продолжает работу детектор КМД-3 [3]. Для получения данных с детектора используются около 300 блоков электроники. Блоки электроники представляют собой сложные цифровые устройства, поведение которых зависит от программного кода, загружаемого в блок непосредственно перед работой.

Целью данной работы является разработка программных комплексов подготовки электроники сбора данных к работе, и отслеживания её состояния.

Для инициализации электроники была разработана программа загрузчик, которая общается с блоками электроники по специальному протоколу, и может инициализировать несколько блоков одновременно.

Загружаемые данные хранятся в специальной базе данных калибровок, и еще до загрузки в блоки попадают в специальную, сохраняемую перед каждым стартом записи с детектора, базу данных – ODB [4]. Далее данные уже из ODB попадают в электронику.

Для решения задачи отслеживания состояния была разработана программа «демон», которая, исходя из текущей конфигурации детектора, периодически генерирует запросы к используемым блокам электроники, и в случае неполадок формирует сообщение оператору.

-
1. Официальный сайт ИЯФ СО РАН, <http://www.inp.nsk.su>
 2. Комплекс ВЭПП-2000, <http://vepp2k.inp.nsk.su/>
 3. CMD-3 collaboration website, http://cmd.inp.nsk.su/?cmd3_main
 4. Midas documentation, <http://midas.psi.ch/htmldoc/index.html>

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент И. Б. Логашенко

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

А. А. Голицын

Новосибирский государственный технический университет
Новосибирский филиал Института физики полупроводников
им. А. В. Ржанова СО РАН «Конструкторско-технологический институт
прикладной микроэлектроники»

Обработка изображений является многоплановой задачей. В нее входит решение задач фильтрации шумов, геометрической коррекции, усиления локальных контрастов, резкости, восстановления изображений и др. Основная цель обработок – это повышение информативности изображения и преобразование его к виду, комфортному для наблюдения, т.е. повышение качества изображения [1].

В телевизионных системах качество изображения, получаемого с фотоприемного устройства (чаще всего ПЗС или КМОП матрицы), определяется большим количеством технических характеристик: соотношением сигнал/шум, статистическими характеристиками шума, градационными характеристиками, интервалами дискретизации и т.д. [1]. Исходя из этого, можно сделать вывод, что не существует универсального метода повышения качества изображения.

В настоящее время существует множество алгоритмов обработки изображений, каждый из которых может быть применен исходя из конкретных требований, предъявляемых к устройствам. Какие алгоритмы обработки изображений могут быть полезны для высокочувствительной телевизионной камеры? Для проверки работоспособности различных алгоритмов был разработан телевизионный канал на базе низкоуровневой ПЗС-матрицы и реконфигурируемого модуля, состоящего из работающих в паре ПЛИС и сигнального процессора. Кроме того, канал содержит USB-приемопередатчик, необходимый для ввода изображения в персональный компьютер (ПК) для дальнейшего анализа.

Т.к. на базе ПЛИС реализовать тот или иной сложный алгоритм обработки изображения достаточно трудоемко, алгоритмы сначала реализовывались программно на базе ПК, а затем, если исследуемый алгоритм действительно улучшал качество наблюдаемого изображения, он реализовывался в телевизионном канале аппаратно – в ПЛИС и сигнальном процессоре.

1. Р. Гоналес, Р. Вудс – Цифровая обработка изображений // пер. с английского под редакцией П. А. Чочиа, М.: Техносфера, 2005

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. К. Дмитриев.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕЧЕНИЯ ФОТОНОВ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА УСТАНОВКЕ ВЭПП-3

Р. А. Головин

Институт ядерной физики имени Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В данный момент в лаборатории 2 ИЯФ СО РАН идут работы по созданию системы мечения фотонов (СМФ), которая будет использоваться в ряде экспериментов на накопителе ВЭПП-3. Она включает в себя три дипольных магнита и систему регистрации электронов, покинувших орбиту ВЭПП-3 после взаимодействия с газовой мишенью. Измерив, параметры данных электроном (энергию и углы их вылета из мишени), можно определить энергии и поляризацию квазиреальных фотонов, провзаимодействовавших с атомами мишени.

Цель представленной здесь работы – моделирование физических процессов, определяющих основные характеристики СМФ, для выбора наилучших конструктивных решений.

В результате выполнения работы была выбрана модель восстановления энергии и углов рассеянных электронов. Была оценена точность данной модели, а также вклад различных физических процессов в результирующую ошибку. Расчеты показали состоятельность предложенной модели для определения параметров меченых фотонов.

При моделировании физических процессов были использованы такие программные библиотеки, как Geant4 и ROOT, для выбора геометрии дипольных магнитов с необходимыми характеристиками магнитного поля (величина и однородность) использовалась программа MERMAID.

В результате компьютерного моделирования было выбрано наилучшее конструктивное решение для координатных детекторов и было показано, что предлагаемая система мечения фотонов удовлетворяет необходимым требованиям регистрации квазиреальных фотонов в диапазоне энергий 550-1000 МэВ.

Научный руководитель — канд. физ.- мат. наук Ю. В. Шестаков.

КОНТРОЛЛЕР ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

А. В. Зорин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В современной экспериментальной физике широкое распространение получили шаговые электрические двигатели. Такие двигатели являются наилучшим решением, когда требуется совершить поворот на заранее известный угол с большой точностью и фиксацией в конечном положении, а применение сервоприводов неоправданно из-за сложности, дороговизны и проблемы фиксирования последних. Однако для работы шаговому двигателю необходим контроллер, формирующий токи на обмотках двигателя в соответствии с заданным режимом движения.

Промышленность выпускает огромное число разнообразных контроллеров, но у них есть определённые недостатки: большой размер, высокая цена, собственный протокол управления и программное обеспечение. Поэтому в Институте ядерной физики был разработан и успешно применяется контроллер со следующими характеристиками: миниатюрный размер (и логические, и силовые элементы расположены в одном корпусе $10 \times 5 \times 3$ см); универсальность (поддерживаются двухобмоточные биполярные, четырёхобмоточные униполярные, четырёхобмоточные волновые двигатели с максимальным током 3,5 А); дешевизна; регулировка ускорения и скорости (максимальная скорость 12 000 полных шагов в секунду); управление по протоколу RS-485; остановка при наезде на концевые выключатели или по команде; возможность синхронной работы нескольких контроллеров, расположенных на одной шине. При всех своих достоинствах этот контроллер не удовлетворяет требованиям современного физического эксперимента из-за отсутствия режима микрошага, то есть возможности дробления полного шага двигателя на несколько микрошагов.

В настоящей работе рассматривается создание контроллера, поддерживающего микрошаг. Аппаратная часть не претерпела качественных изменений по сравнению с первой версией, основным отличием является использование более быстрого микроконтроллера другой архитектуры, что потребовало полного переписывания микропрограммы. Одной из наиболее интересных задач является реализация ускорения и торможения двигателя, так как необходимо работать с действительными числами в условиях сильной ограниченности ресурсов микроконтроллера.

Научные руководители – канд. техн. наук В. А. Шкаруба, А. А. Волков.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ С ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ГЭУ В СОСТАВЕ СРРЭ ЭКСПЕРИМЕНТА КЕДР

М. В. Ивко

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

СРРЭ предназначена для изучения двухфотонных взаимодействий электрона и позитрона в эксперименте «КЕДР». Электроны и позитроны излучают виртуальные фотоны, в результате взаимодействия которых образуются С-четные состояния. Кинематика реакции определяется по конечным состояниям электрона и позитрона, называемых рассеянными электронами. СРРЭ предназначена для детектирования обоих РЭ, с целью определения параметров $\gamma^*\gamma^*$ системы.

Измерив поперечную координату рассеявшейся частицы в плоскости орбиты, можно однозначно определить её энергию без измерения угла рассеяния. Первоначально для этой цели использовались детекторы на основе дрейфовых трубок. Впоследствии СРРЭ была дополнена детекторами на основе газовых электронных умножителей. Они обладают лучшим пространственным разрешением и позволяют измерять координату частицы в направлении, перпендикулярном плоскости орбиты, что даёт возможность подавлять фон от однократного тормозного излучения.

Настоящая работа описывает программные компоненты, предназначенные для анализа данных с детекторов на основе ГЭУ. Они работают в составе более обширного пакета программного обеспечения СРРЭ. Программа обработки анализирует данные, полученные системой сбора данных и выявляет в данных ГЭУ кластеры, по которым определяются возможные координаты частиц. Программа визуализации отображает данные, полученные ГЭУ, вместе с найденными кластерами и данными дрейфовых трубок.

-
1. Аульченко, В. М. и др.: Препринт ИЯФ 91-45. Новосибирск, 1991.
 2. Aulchenko, V. M. et al.: Upgrade of the KEDR tagging system. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 494:241–245, 2002.
 3. Sauli, F.: GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 386:531–534, 1997.
 4. Aulchenko, V. M. et al.: Triple-GEM detectors for KEDR tagging system. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 598:112–115, 2009.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Л. И. Шехтман.

ВЕБ-САЙТ КОНТРОЛЯ, УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ДЕТЕКТОРА КМД-3

Н. Е. Козлов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

Работа проводится в ИЯФ СО РАН на детекторе элементарных частиц КМД-3. КМД-3 – один из двух детекторов ВЭПП-2000, наряду с СНД. ВЭПП-2000 – это электрон-позитронный коллайдер с энергией пучков в системе центра масс до 2ГэВ.

Детектор КМД-3 – сложная система с множеством параметров. Она требует постоянного контроля. Основным источником информации для операторов являются датчики медленного контроля. Датчики медленного контроля называются так, потому что, период их измерения составляет 30-60 секунд. Датчиков много, поэтому они поделены на группы. Датчики разделены по измерению похожих, либо связанных величин. Считается, что каждая группа меряется одновременно. При наблюдении за какой-либо конкретной подсистемой оператору необходимо следить за определенным набором групп датчиков. Информация с датчиков сначала попадает в базу данных, где хранятся последние 100 значений для каждого сенсора, а потом ее перемещают в более надежное хранилище. Поэтому встает задача о создании интерфейса для наблюдения за состоянием детектора. Интерфейс должен выводить последние значения датчиков и отображать графики измерений за определенный промежуток времени. Помимо этого интерфейс должен предоставлять функционал по изменению конфигурации отдельного датчика или группы датчиков.

Целью данной работы является разработка веб-сайта контроля, управления и мониторинга детектора КМД-3. Для серверной части, написанной на языке Python, был выбран фреймворк Django, а для клиентской части – Javascript-библиотека jQuery. Для отображения последних значений используется информация из базы данных, а графики строит специальная программа.

Научный руководитель – А. В. Анисёнков.

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ СТРУКТУРНОГО ВЫРАВНИВАНИЯ МОЛЕКУЛ БИОПОЛИМЕРОВ

А. П. Кузнецов

Новосибирский государственный университет
ЗАО «УниПро»

Трехмерная структура белка представляет собой набор пространственных координат атомов химических элементов составляющих молекулу. Эти координаты могут быть получены с помощью методов рентгеноскопии и атомной спектроскопии. Необходимость знания трехмерной структуры заключается в том, что в большинстве случаев именно структура молекулы определяет непосредственную функцию белка.

Важным направлением структурной биологии является поиск сходства среди макромолекул. Алгоритмы сравнения и выравнивания трехмерных структур преследуют те же цели что и алгоритмы выравнивания последовательностей, но выполняются применительно к трехмерным моделям биополимеров. Построение структурного выравнивания является актуальной задачей биоинформатики.

Цель работы – реализовать инструмент работы со структурными выравниваниями для программы UGENE. UniPro UGENE это открытый активно развивающийся проект, представляющий собой кроссплатформенное ПО для молекулярного биолога с удобным пользовательским интерфейсом.

Необходимо интегрировать в виде подключаемого модуля существующий алгоритм со свободной лицензией, обеспечить возможность реализации других алгоритмов структурного выравнивания в виде отдельных модулей. Реализовать визуализацию выровненных структур, взяв за основу существующий модуль визуализации UGENE. Разработать понятный графический интерфейс пользователя. Планируется также возможность построения выравниваний на сторонних веб-сервисах разработчиков алгоритмов.

Код проекта и дипломной работы свободно распространяется в согласии с лицензией GPL и доступен в интернете.

Научный руководитель — М. Ю. Фурсов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ОБЪЕМОВ

А. И. Кузьмин

Институт теоретической и прикладной механики СО РАН
Новосибирский государственный университет

Фотонные кристаллы – это семейство оптических материалов, определяющим свойством которых является периодическое изменение диэлектрической проницаемости в пространстве. Исследование свойств фотонных кристаллов открывает путь к созданию низко-пороговых лазерных излучателей для видимого и ближнего инфракрасного диапазонов. Кроме того, использование фотонных кристаллов при конструировании телекоммуникационных систем может привести к снижению коэффициента затухания в оптических волокнах и созданию не имеющих аналогов сверхбыстрых, полностью оптических, переключателей потоков информации.

Процесс разработки фотонно-кристаллических устройств для практических целей может быть существенно ускорен при помощи численного моделирования. При этом могут быть сокращены издержки на изготовление опытных образцов и проведение экспериментов, позволяя оптимизировать параметры (такие как геометрия, тип решетки и диэлектрическая проницаемость используемых материалов) на основе результатов моделирования.

Для моделирования фотонно-кристаллических устройств численно решается система уравнений Максвелла. В работе рассматривается разностная схема второго порядка, построенная при помощи метода конечных объемов во временной области (FVTD). Применение этого метода имеет несколько преимуществ. Ввиду использования неструктурированных сеток, он позволяет точно приблизить геометрию тел произвольной формы, а также повысить точность моделирования при помощи сгущения сетки в областях с резко изменяющимися параметрами среды.

Целью данной работы является численный расчет характеристик волноводов, построенных на двумерных фотонных кристаллах. Для волн различной частоты рассчитываются коэффициенты отражения и прохождения для волновода с прямоугольным поворотом. Результаты моделирования сравниваются с ранее опубликованными экспериментальными данными, а также с другими способами моделирования, в частности, с расчетами методом конечных разностей во временной области (FDTD).

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук Н. А. Маслов, Т. З. Исмагилов.

ПОЛУЧЕНИЕ ДЛИНЫ ПОГЛОЩЕНИЯ В АЭРОГЕЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GEANT4.

Э. Ю. Лепнер

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В Институте ядерной физики СО РАН на детекторе «КЕДР» аэрогелевые черенковские счетчики являются одним из основных инструментов для определения типа проходящих, заряженных частиц. Определение световыхода данной установки является очень важной задачей для ее калибровки, которую невозможно решить теоретически из-за геометрических особенностей. Для решения этой проблемы необходимо программное обеспечение.

Данная работа посвящена разработке приложения, которое моделирует прохождение оптических фотонов через аэрогель с учетом всех геометрических особенностей установки и получает зависимость вероятности регистрации на фотоприёмнике от оптических параметров аэрогеля (длины поглощения, длины рассеяния).

При реализации данной системы за основу взят пакет Geant4, который моделирует прохождение элементарных частиц через вещество с использованием метода Монте-Карло. Для визуализации данных, построения зависимостей и гистограмм применяется пакет ROOT. Оба продукта написаны на объектно-ориентированном языке C++, что позволяет использовать всю мощь ООП.

На данный момент для проверки корректной работы программы получена зависимость световыхода от длины поглощения и длины рассеяния для сферически симметричной задачи, когда длина поглощения много больше длины рассеяния, которая была решена теоретически.

Научный руководитель – А. Р. Бузыкаев.

АЛГОРИТМЫ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ НА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

В. А. Ложкин

Новосибирский государственный университет

Метод Tomo PIV (Tomographic Particle Image Velocimetry) - позволяет измерять мгновенные 3-х компонентные поля скорости в объеме потока по перемещениям трассеров. Tomo PIV [1] основан на том же принципе реконструкции изображения, что и медицинское диагностическое оборудование для томографических исследований. Отличие состоит в использовании меньшего числа проекций. Трассеры в области измерения регистрируются одновременно на четыре цифровые камеры с различными углами наблюдения области потока. Томографическая реконструкция позволяет восстановить положение трассеров в потоке, а корреляционная обработка - их скорость.

Одной из проблем применения метода, являются высокие требования к вычислительным ресурсам. Расчет одного мгновенного поля скорости может потребовать до нескольких гигабайт ОЗУ и длиться в течение нескольких часов. При этом для набора статистики в каждом эксперименте требуется рассчитать от нескольких сотен до нескольких тысяч трехмерных полей скорости. Одним из способов решения данной проблемы является использование высокопроизводительных компьютерных систем: многоядерных серверных решений, вычислительных кластеров, видеоадаптеров.

В рамках данной работы был реализован алгоритм томографической реконструкции, позволяющий эффективно использовать возможности многоядерных компьютерных архитектур. Была исследована зависимость производительности алгоритма реконструкции от количества процессорных ядер, используемых в обработке. Проведено сравнение эффективности использования высокопроизводительных систем различных архитектур для решения задач вычислительной томографии. Применение реализованного алгоритма томографической реконструкции позволило уменьшить время реконструкции положений трассеров в объеме потока в несколько раз.

1. Elsinga G. E., Scarano F., Wieneke B., Oudheusden B. W. Tomographic particle image velocimetry // Exp. Fluids. 2006. 41. 933-947

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук А. В. Бильский.

ЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ СИСТЕМА КОНФИГУРИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

А. В. Макеев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

В ИЯФ существует несколько крупных физических установок. Для них создаются системы управления, предоставляющие персоналу интерфейсы для управления физическими экспериментами. Как приложения системы управления, так и элементы инфраструктуры установки должны быть корректно настроены для успешного управления физическим экспериментом. Полный набор таких настроек называется конфигурацией установки.

В настоящее время работу с конфигурациями установок в ИЯФ можно охарактеризовать следующими подходами:

- Хранение конфигурации в нескольких разнесенных файлах.
- Использование прямых запросов записи/чтения к файлам или СУБД.

С одной стороны, эти подходы позволяют ускорить процесс создания программного решения, однако они могут стать причиной ряда проблем, среди которых:

- Противоречивость хранимых данных.
- Зависимость от конкретного хранилища (СУБД / формата файла).
- Сложность освоения конфигурации новыми участниками проекта.
- Отсутствие контроля доступа и журналирования.

В будущем все эти проблемы сказываются на увеличении рисков возникновения ошибок, поэтому решать их необходимо на ранних стадиях работы установок. Для использования на двух таких установках: ТНК (технологический накопительный комплекс, г. Зелиноград) и ЛИУ (линейный индукционный ускоритель-инжектор, г. Снежинск) автором была разработана централизованная система конфигурирования.

Разработанная система обладает следующими преимуществами:

- Предоставление централизованного Web-интерфейса.
- Контроль над согласованностью хранимых данных.
- Переносимость между хранилищами (SQLite[1], PostgreSQL[2] и др.).
- Простота в освоении конфигурации новыми участниками проекта.
- Управление уровнем доступа на уровне групп пользователей.
- Журналирование событий изменения конфигурации.

1. SQLite. Small. Fast. Reliable. – <http://www.sqlite.org>

2. PostgreSQL: Open source database. – <http://www.postgresql.org>

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доцент П. В. Логачев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА АНАЛОГОВОГО КОДИРОВАНИЯ

В. А. Матюха

Владимирский государственный университет

Принципы кодирования были разработаны для повышения помехоустойчивости при передаче цифровой информации и используются практически только в применении к цифровым потокам [1,2]. Подавляющее большинство методов кодирования использует избыточность при передаче сигналов. В связи с тем, что передается большее количество символов, чем в исходном сообщении, появляется возможность локализовать и исправлять появляющиеся ошибки.

В аналоговых системах повышение помехоустойчивости по большому счету также достигается введением избыточности [3]. Это проявляется в расширении полосы спектра исходного информационного сигнала. Поскольку принципы цифровой и аналоговой передачи различаются, то и методы использования избыточности в обоих случаях качественно разные. Однако их синтез может дать полезные результаты.

Как известно, при систематическом кодировании при передаче цифровой информации часть передаваемых символов сигнала идентична символам исходного сообщения, передаваемые дополнительно провөрочные символы образованы по определенным правилам из информационных символов. Правила их образования и определяют тот или иной метод. Подобный подход можно положить в основу и при передаче аналоговых сигналов (без их преобразования в цифровую форму), когда наряду с исходным сигналом дополнительно передается образованная также по определенным правилам комбинация его частей, т.е. осуществить *аналоговое* кодирование.

В работе рассматривается реализация данного метода и определяются условия, при которых вероятность потери информации минимальна. Все исследования, проведенные в работе, подкрепляются графическими материалами, в результате анализа которых делается вывод об эффективности представленного метода.

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение/ пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. 1104с.

2. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение/пер. с англ.–М.: Техносфера, 2006. 319с.

3. Полушин П. А. Избыточность сигналов в радиосвязи. М.: Радиотехника, 2007. 256 с.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. П. А. Полушин.

АКУСТИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСМИССИИ И ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЕЙ

Е. К. Мегис

Владимирский государственный университет

Большое влияние на уровень безопасности движения оказывают неисправности ходовой части автомобиля. Неисправность, возникающая в каком-либо узле ходовой части автомобиля, чаще всего приводит к увеличению нагрузки на соседние узлы, что в конечном итоге приводит к их внезапному отказу, при котором движение автомобиля невозможно. При появлении неисправностей в узлах и элементах ходовой части автомобиля возникают ударные нагрузки, сопровождающиеся различными звуковыми эффектами. Предлагается использовать для непрерывной диагностики акустические диагностические параметры состояния подвески и трансмиссии автомобиля. Измерять их можно при помощи акустических измерительных преобразователей (например, типа SM01A), которые обладают достаточно широким диапазоном (60...15000 Гц) и чувствительностью (58 мВ/Па), имеют удобный для дальнейшей обработки выходной сигнал.

Необходимо экспериментально определить основные акустические диагностические параметры ходовой части автомобиля и создать базу данных, позволяющую разработать и создать действующий прототип системы встроенного диагностирования состояния подвески и трансмиссии легкового автомобиля. Составлена структурная схема системы диагностирования, определено количество и места расположения датчиков в автомобиле. Доработаны акустические измерительные преобразователи для повышения их защищенности от влияния внешней среды с целью использования их в подкапотном пространстве и на элементах кузова автомобиля, а также для их защиты от шума в подкапотном пространстве.

Таким образом, использование указанной выше системы диагностирования позволит повысить надежность ходовой части автомобилей, снизить затраты на их ремонт и обслуживание, а также повысить безопасность движения за счет снижения аварийности и уменьшения внезапных отказов трансмиссии и подвески. В связи с этим, рекомендуется оборудовать легковые автомобили данной системой встроенной диагностики акустических диагностических параметров состояния подвески и трансмиссии на основе использования акустических измерительных преобразователей.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Е. А. Киндеев.

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ЖУРНАЛИРОВАНИЯ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ВЭПП-2000

А. И. Сенченко

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Ускорительный комплекс ВЭПП-2000 успешно функционирует с 2007 года, на данный момент закончены этапы настройки различных подсистем, а с конца 2009 года непосредственно ведется экспериментальная работа по физике высоких энергий.

Ускорительный комплекс с точки зрения автоматизации представляет собой распределенную систему управления и контроля с порядка 3000 медленных каналов чтения и записи, и 500 импульсных каналов чтения.

В связи с переходом в рабочий режим все чаще возникает необходимость отслеживать не только значения, медленно меняющиеся во времени, но и импульсные значения. Особенностью импульсных каналов является привязка не к определенному моменту времени, а к некоторому событию. Такими импульсными каналами являются осциллограммы, например, скорость нарастания магнитного поля в импульсном элементе канала перепуска, а событием – выстрел, например, перепуск пучка электронов из накопителя в ВЭПП-2000.

Добавление новых типов каналов, ставит новые задачи перед существующим программным обеспечением системы журналирования ВЭПП-2000, такие как увеличение пикового потока данных, рост потребления дискового пространства, необходимость получения информации (данных) при наложении дополнительных ограничений, а также усложнения логики предварительной обработки. В ходе проведенного анализа разных вариантов модернизации ПО были выбраны следующие основные моменты для реализации:

— *Персистентный буфер* — позволяет временно сохранять данные на сервере журналирования на случай временного сбоя СУБД.

— *Горизонтально масштабирование PostgreSQL* – разнесение старых и новых данных на несколько серверов.

— *Предоставление Pg/PLSQL API* — API прямых запросов к данным.

Данный подход позволит: увеличить надежность системы журналирования, предоставить пользователю более гибкий доступ данным.

Научный руководитель – чл.-корр. РАН Ю. М. Шатунов.

УПРАВЛЕНИЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМОЙ БУСТЕРНОГО СИНХРОТРОНА

П. Б. Чеблаков

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

Одной из важнейших задач, возникающих при проектировании системы управления циклического ускорителя, является задача синхронного и прецизионного управления быстро изменяющимися полями в различных элементах магнитной структуры, обеспечивающей движение заряженных частиц по замкнутой орбите в процессе ускорения.

В настоящее время в ИЯФ СО РАН ведется создание бустерного синхротрона для источника синхротронного излучения NSLS-II (BNL, USA) [1]. Данный синхротрон рассчитан на подъем энергии электронов с 200 до 3000 МэВ со временем ускорения 300 мс. Для решения задачи управления магнитной системой применяются специализированные электронные устройства: PSC (*Power Supply Controller*), PSI (*Power Supply interface*) и элементы системы синхронизации. Их использование обеспечивает требуемый подъем энергии пучка по заранее заданному профилю. PSI, включающий в себя ЦАП и несколько АЦП, размещается в непосредственной близости от регулятора тока источника питания и управляется по оптическому кабелю от PSC, обеспечивающему непрерывное задание кодов в ЦАП и сбор измеренных значений различных параметров источника питания. PSC связан с управляющим компьютером через 100 Mbit Ethernet.

В работе рассматриваются структура управления магнитной системой, ее аппаратные и программные аспекты, а также специфика и особенности реализации для бустерного синхротрона NSLS-II.

1. National Synchrotron Light Source II, <http://www.bnl.gov/nsls2/> (18.02.2011).

Научный руководитель – канд. техн. наук С. Е. Карнаев.

О МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУР С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОПАРЫ В ГОРЯЩЕЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУЕ

Г. А. Чернов

Новосибирский государственный университет

В качестве исходных данных для расчета скорости тепловыделения в турбулентных пламенах иногда используют результаты измерений с помощью термопар. В результате этого получают поле температур, которое можно сравнить с численным расчетом и определить его достоверность или получить приближенное значение скорости тепловыделения в горящей струе. Однако любая термопара имеет некоторую инерционность. Поправку на инерционность термопар в газовой фазе можно учесть используя подход опубликованный в работе [1]. При размере плеч термопары 100 диаметров провода теплотери в концы отсутствуют, тогда уравнение баланса тепла термопары будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{dT_t}{dt} = \frac{2\alpha}{c_2 \rho_2 h} (T - T_t)$$

В докладе приведено аналитическое решение этого дифференциального уравнения. В отличие от численного решения это дает возможность использовать эти результаты в микроконтроллерах при решении задач автоматизации и управления.

Используя подход быстрого преобразования Фурье к измеряемому сигналу были получены зависимости искажения амплитуды и фазы измеряемого сигнала от скорости изменения температуры в турбулентном пламени. Выявлено, что при приближении периода гармонических колебаний измеряемого сигнала к постоянной времени термопары искажение амплитуды сигнала достигает 5 раз. Эти искажения могут быть компенсированы, если постоянная времени термопары хорошо известна. Обратное преобразование Фурье с использованием коррелирующих функций позволяет восстановить истинную температуру пламени на основе данных термопарного измерения. Приведенный в работе подход компенсации искажений может быть использован для любых сенсоров.

1. Зенин А. А. Об ошибках показаний термопар, проходящих через пламя. Инженерно-физический журнал, т. V, N 5, 1962, с. 70–74.

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОДНОМЕРНОГО ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА С РЕЗОНАНСНЫМ ДЕФЕКТНЫМ СЛОЕМ НАНОКОМПОЗИТА

А. Ю. Авдеева

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Фотонные кристаллы (ФК) диэлектрические свойства которых меняются периодически с периодом, допускающим брэгговскую дифракцию света, вызывают интерес как новые оптические материалы с уникальными свойствами [1–2]. Важным свойством ФК является явление локализации электромагнитных волн на дефектах структуры [3–4].

Если в одномерном ФК два внедренных дефектных слоя или иначе, два микрорезонатора разнесенные на расстояние, значительно превышающее размер области локализации электромагнитного поля у дефектного слоя, то частота дефектной моды дважды вырождена. При сближении дефектов резонансный характер взаимного влияния дефектных мод приводит к расширению частоты и вместо отдельной частоты, возникает пара частот, смещенных друг относительно друга, а в ЗЗ спектра пропускания ФК наблюдается один либо два пика [5].

Настоящая работа посвящена исследованию спектральных свойств одномерного фотонного кристалла с дефектным слоем нанокompозита, который состоит из металлических наночастиц диспергированных в прозрачной матрице. Установлена линейная зависимость логарифма пропускания на частоте дефектной моды как от концентрации наночастиц, так и от числа периодов структуры. Решена задача расчета спектра пропускания, отражения и поглощения подобных структур при наклонном падении света. Анализируются эффекты расщепления дефектной моды и локализации электромагнитного поля.

1. K. Busch, S. Lölkes, R. B. Wehrspohn et al., Photonic Crystals: Advances in Design, Fabrication and Characterization, Weinheim: Wiley-VCH, 354. 2004.

2. В. Ф. Шабанов, С. Я. Ветров, А. В. Шабанов, Оптика реальных фотонных кристаллов: жидкокристаллические дефекты, неоднородности, Новосибирск: Изд-во СО РАН, 240. 2005.

3. S. John, Phys.Rev. Lett., 58, 2486.1987.

4. D. R. Smith, R. Dalichaouch, N. Kroll et. al., J. Opt. Soc. Am. B., 10, 314. 1993.

5. Т. В. Долгова, А. И. Майдыковский, М. Г. Мартемьянов и др., Письма в ЖЭТФ, 73, 8. 2001.

НОВЫЙ НАНОМАТЕРИАЛ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВ

А. Н. Аксёнов, И. А. Азаров, Д. В. Марин, Е. Б. Горохов
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирский государственный университет
Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Свойства полупроводниковых «квантовых точек» в изолирующей среде изучаются и фундаментальной наукой и с целью приборных приложений в элементах флэш-памяти, одноэлектронных транзисторах, оптических фильтрах, дифракционных решетках, светодиодах, лазерах, дисплеях на квантовых точках, голографии, фотонных кристаллах и др. Пленки GeO(тв) и гетерослои из диэлектрических слоев GeO₂ с внедренными в них Ge-нанокластерами (GeO₂<Ge-НК>) с позиций физики и технологии перспективны для изготовления данных приборов. В интерференционных фильтрах, например, варьируя свойства гетерослоев GeO₂<Ge-НК>, можно создавать мультислойные системы, где оптические постоянные разных слоев, различаясь в широких пределах, вносят эффекты, не реализуемые на базе известных материалов. Новые свойства фильтрам могут придать слои с меняющимся по их толщине показателем преломления или системы из слоев, комплексный показатель преломления которых изменяется из слоя в слой плавно. Такие фильтры являются одномерными фотонными кристаллами, что усиливает интерес к ним. Оптические константы слоев GeO₂<Ge-НК> можно варьировать в широких пределах, используя:

- 1) вариации состава системы GeO₂<Ge-НК> (долей обеих компонент);
- 2) квантово-размерный эффект Ge-наночастиц и их кристаллизацию;
- 3) химические и структурные модификации матрицы диэлектрика GeO₂ в гетерослоях благодаря легко активируемым химическим реакциям при контакте с неорганическими агентами (NH₃, SiO₂, Si₂N₄ и др.).

На стекле изготовлены макеты интерференционных мультислойных фильтров на базе гетерослоев GeO₂<Ge-НК>, разделенных слоями CVD SiO₂. Их спектры пропускания изменялись при вариациях толщины слоев GeO₂<Ge-НК>– (от ~ 10–15 до 25–30 нм), а также средних размеров Ge-наночастиц за счет эффекта размерного квантования. При отжигах с ростом размера Ge-наночастиц поглощение фильтра в коротковолновой области спектра повышается. Данные спектры поглощения близки спектрам солнцезащитных стекол, частично ослабляющих красно-желтую часть спектра солнца (полезную глазам) и совсем перекрывающих вредную ультрафиолетовую. Технология нанесения светофильтров из гетерослоев GeO₂<Ge-НК> на линзы высокопроизводительна, проста, воспроизводима и малозатратна.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Е. Б. Горохов.

ПОЛИМЕРНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

В. М. Александрова, А. Ю. Огнев

Новосибирский государственный технический университет

Разработка нового класса нанокompозитов в результате добавления углеродных нанотрубок (УНТ) в полимеры могло бы привести к созданию нового класса материалов, сочетающих в себе легкость и гибкость полимеров с высокой прочностью, тепло- и электропроводностью углеродных нанотрубок.

Области применения полиэтилена различна, детали из СВМПЭ используются в основных отраслях промышленности машиностроение, химической промышленности, производстве брони боевых машин, изготовлении эндопротезов, покрытий для лыж и сноубордов, использоваться в качестве искусственного льда для летних катков. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен обладает особенными свойствами: высокопрочный; химически стойкий; стойкий к истиранию; способен выдерживать температурный диапазон от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для получения матрицы композиционного материала был выбран метод горячего прессования с последующим спеканием при давлении прессования 12 МПа, температуре спекания $185\text{ }^{\circ}\text{C}$, времени спекания 3 ч

Важной задачей при создании полимерных композиционных материалов является увеличение прочности связи между матрицей и второй фазой. Одним из решений может быть функционализация углеродных нанотрубок (изменение химической природы их поверхности), что способствует увеличению прочности связи трубка-матрица, обеспечивает разделение сростков УНТ на отдельные трубки, улучшает однородность распределения УНТ в матрице.

В работе проводилась химическая и электрохимическая функционализация поверхности углеродных нанотрубок. Анализ результатов полученных на растровом электронном микроскопе с микроанализатором показал, что после функционализации наблюдается наличие кислорода. Это говорит о том, что он закрепился на поверхности, а из этого следует, что увеличилась смачиваемость поверхности УНТ.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент А. А. Никулина.

РАЗРАБОТКА САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И ПРИРОДНОГО ЦЕОЛИТА

А. А. Алексеев

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск
Институт проблем нефти и газа СО РАН

Проблема повышения качества, надежности и долговечности машин является одной из основных задач современного машиностроения и имеет не только научно-техническое, но и важное экономическое значение.

Использование полимеров в качестве конструкционных материалов антифрикционного назначения обусловлено многими факторами, в том числе возможностью образовывать композиты с заданными свойствами.

Целью данной работы является разработка новых самосмазывающихся триботехнических полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ).

На основании проведенных исследований показано, что при наполнении ПТФЭ активированными в течение 2 мин природными цеолитами физико-механические характеристики увеличиваются на 10–20 %, скорость массового изнашивания снижается до 130 раз по сравнению со свойствами ненаполненного ПТФЭ.

При наполнении ПТФЭ, цеолитом, предварительно пропитанным моторным маслом М-8В установлено снижение скорости массового изнашивания до 615, снижение коэффициента трения и температуры в зоне контакта до 2 раз по сравнению с ненаполненным ПТФЭ.

Из-за повышенной сорбционной способности природных цеолитов к углеводородам они способны удерживать оболочку из адсорбированных молекул компонентов смазки и доставлять их в зону трения, когда наступает истощение их в зоне трибоконтакта из-за десорбции с металлической поверхностью при повышении температуры. Таким образом, происходит предотвращение адгезионного изнашивания трущихся металлических поверхностей.

Снижение коэффициента трения может обуславливаться также нагревом материала и формированием подвижного слоя переноса, выполняющего функцию смазочного материала.

Таким образом, разработаны перспективные самосмазывающиеся полимерные композиты для повышения надежности, безопасности и эффективности эксплуатации транспортной техники Севера.

Научный руководитель – канд. техн. наук О. В. Гоголева.

ВЛИЯНИЕ БЕНТОНИТА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Н. И. Аргунова

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск

Одним из перспективных способов получения нанокompозитов на основе полимеров является применение в качестве наполнителей слоистых силикатов. В данной работе исследовано влияние бентонита на физико-механические и триботехнические свойства политетрафторэтилена (ПТФЭ).

Бентонит - природный глинистый минерал, содержащий до 70 % монтмориллонит, относящийся к подклассу слоистых силикатов.

Образцы ПТФЭ содержали бентонит, выдержанный в растворе HCl, для удаления обменных катионов, исходный бентонит и эти же образцы, содержащие бентонит, активированный в планетарных мельницах АГО-2 и «Пульверизетте-5» в количестве 1, 2, 5, 7, 10 мас. %.

Физико-механические характеристики образцов композитов определяли на разрывной машине «UTS-2». Массовый износ и коэффициент трения определяли на машине трения СМЦ-2 по схеме «вал-втулка». Структурные исследования проведены с использованием методов РЭМ и РСА.

Показано, что предел прочности при разрыве образцов выше в случае использования бентонита, отмытого от содержания обменных катионов. Повышение физико-механических характеристик ПТФЭ объясняется более высокими адсорбционными свойствами наполнителя, обуславливающего более эффективное взаимодействие на границе раздела фаз между наполнителем и ПТФЭ. Показано значительное повышение триботехнических характеристик композитов. Достигнуто повышение износостойкости в 2000 раз по сравнению с ненаполненным ПТФЭ при введении 7,0 мас. % исходного бентонита, активированного в теч. 2 мин в планетарной мельнице АГО-2. Для выявления процессов, протекающих при формировании композиционного материала, проведены структурные исследования с использованием методов порошковой дифрактометрии. Сравнение дифрактограмм исходного ПТФЭ, бентонита и композитов на их основе, выявило формирование полимер-силикатного нанокompозита. Методом электронной растровой микроскопии исследованы поверхности трения композитов, выявлена локализация частиц наполнителя на поверхности трения, играющей роль защитного экрана, предохраняющего поверхностный слой материала от истирания.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент С. А. Слепцова.

СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОБАЛЬТИТА СТРОНЦИЯ, ДОПИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗОМ

И. В. Беленькая

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Нестехиометрические перовскиты на основе феррита и кобальтита стронция, обладают высокой смешанной кислород - электронной проводимостью и являются перспективными материалами для создания кислородпроницаемых мембран [1]. Рекордные значения кислородной проницаемости имеет материал состава $\text{SrCo}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-z}$ [2, 3]. В связи с этим интерес представляет установление механизма кислородного транспорта и факторов, определяющих аномально высокую подвижность ионов кислорода в данном соединении. Целью работы является исследование строения и микроструктуры $\text{SrCo}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-z}$ перовскита, в том числе в условиях, моделирующих рабочие условия кислород-проницаемой мембраны.

В работе изучены образцы состава $\text{SrCo}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-z}$, синтезированные керамическим методом с использованием различной обработки образцов: (а) медленное охлаждение в печи; (б) отжиг медленно охлажденных на воздухе образцов при 900 °С в динамическом вакууме ($P \sim 10^3$ Па) с последующей закалкой образцов до комнатной температуры. Дифрактометрические исследования выполнены на дифрактометре Bruker D8 Advanced (CuK α излучение). На полученных рентгенограммах помимо основных рефлексов фазы кубического перовскита обнаружено наличие сверхструктурных рефлексов, связанных со специфичной микроструктурой образца, что подтверждается данными просвечивающей электронной микроскопии. Термическую устойчивость исследуемых образцов изучали с помощью *in situ* высокотемпературной дифрактометрии, а также с помощью термогравиметрического анализа в температурном интервале от 30 °С до 1000 °С в условиях вакуума.

1. J. Sunarso, S. Baumann, J. M. Serra, W. A. Meulenberg, S. Liu, Y. S. Lin, J. C. Diniz da Costa, *Journal of Membrane Science*, 320, 13. 2008.

2. V. V. Kharton, A. L. Shaula, F. M. M. Snijkers, J. F. C. Cooymans, *Journal of the European Ceramic Society*, 26, 3695–3704. 2006.

3. H.J.M. Bouwmeester, A. J. Burggraaf, *CRC Handbook of Solid State Electrochemistry*, 481–553. 1997.

Научный руководитель – канд. хим. наук А. П. Немудрый.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СЛОЕВ ЖЕЛЕЗА НА КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ

Е. П. Березицкая, А. С. Паршин, Г. А. Александрова, О. П. Вайтузин
Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени акад. М. Ф. Решетнева, г. Красноярск

В настоящее время проявляется повышенный интерес к слоистым структурам типа полупроводник/магнитный материал. Такие материалы используются в микроэлектронике, являются перспективными для спинтроники. При этом качество электронных устройств во многом зависит от состояния поверхности используемых материалов.

Значительный прогресс в технологии низкоразмерных систем был достигнут с развитием метода атомно-силовой микроскопии, которая позволяет анализировать рельеф поверхности с высоким разрешением.

Была исследована поверхность образцов, представляющих собой монокристаллическую кремниевую подложку Si (100) с напыленным на нее верхним слоем железа при различных технологических условиях. Данные структуры были получены методом термического испарения в условиях сверхвысокого вакуума.

Исследования образцов проведены на сканирующей зондовой нанолaborатории NTEGRA AURA методом АСМ в полуконтактном режиме (рис. 1).

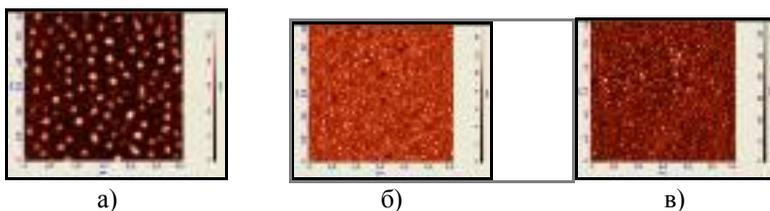


Рис.1. АСМ изображение поверхности образца полученного: а) при комнатной температуре подложки, время напыления 10 минут; б) при температуре подложки 270 °С, время напыления 10 минут; в) при температуре подложки 620 °С, время напыления 10 минут.

Установлено, что в процессе роста на подложке формируются наноструктуры различных размеров и высот. Для каждого образца были определены значения шероховатости поверхности, эффективная толщина слоя железа на кремнии, степень заполнения поверхности наноструктурами.

Авторы выражают благодарность С. Н. Варнакову за предоставленные образцы.

Работа выполнена в рамках проекта АВЦП РНП ВШ 2.1.1/ 3656, ФЦП «Научные и научно- педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы».

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, проф. А. С. Паршин

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА С НАНОРАЗМЕРНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Е. И. Бобрицкая

Российский государственный педагогический университет
им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург

Перспективным направлением в изучении биополимеров являются исследования пленок на основе хитозана, применяемых в качестве биосовместимой, биodeградируемой матрицы для выращивания биологических тканей и нервов.

В данной работе исследовалось влияние модификации исходной полимерной матрицы хитозана наночастицами хризотила на структуру поверхности полимера и его электрофизические свойства.

Форма, размеры частиц, распределение в полимере и их влияние на шероховатость поверхности исследовались методом атомно-силовой микроскопии. Выяснено, что кристаллы хризотила представляют собой трубочки-фибриллы диаметром 20 нм и длиной от десятков нанометров до нескольких микрометров, распределены в полимере равномерно по всему объему, шероховатость поверхности увеличивается в 4 раза.

Исследования электропроводности исходного и композитного полимера проводились методом термостимулированной поляризации (ТСП) на установке термостимулированных токов TSC II.

При сравнении токов проводимости чистого и композитного полимера видно, что внедрение хризотила уменьшает проводимость в 3 раза, в модифицированных пленках, в отличие от исходных, удалось создать поверхностный заряд, сохраняющийся при комнатной температуре до нескольких часов

Исследования природы релаксационных процессов в полимере и его композитах проводились методами термостимулированной поляризации и термостимулированной деполяризации на установке TSCII. На спектрах ТСП и ТСД обнаружены и исследованы 5 релаксационных процессов.

На основании данных атомно-силовой микроскопии предложены способы увеличения адгезии наносимых покрытий (клеток) к полимерной матрице.

На основании экспериментальных результатов ТСП показано влияние наночастиц хризотила на проводимость материала, что важно для улучшения электретных свойств исходного полимера.

На основании данных ТСД идентифицирована природа релаксационных процессов в полимерной матрице, что может позволить усовершенствовать материал для предотвращения преждевременного старения клеток биологических тканей.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Д. Э. Темнов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

П. Н. Бондик, А. А. Козулин, М. А. Сухоярский
Томский государственный университет

Для получения металлов и сплавов с объемной ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой широко применяются методы интенсивной пластической деформации (ИПД). Одной из главных задач исследователей, изучающих процесс течения материалов при ИПД прессовании, является оценка напряженно-деформированного состояния (НДС), его однородности в образце, определение зон растягивающих напряжений, зон наибольших и наименьших деформаций и оценка однородности полей накопленных пластических деформаций в целом. Также важным моментом является подбор режимов прессования и выбор геометрических размеров образца и пресс-формы. Актуальной задачей, связанной с совершенствованием технологий, реализующих методы ИПД, является изучение процессов формирования УМЗ структуры в объеме материалов методами компьютерного моделирования.

Целью данной работы является разработка моделей, описывающих процессы деформации и эволюции структуры заготовок из алюминиевых сплавов при использовании метода равноканального углового прессования. В рассматриваемом методе цилиндрический или призматический алюминиевый стержень продавливается под высоким давлением через два сопрягающихся под углом канала и претерпевает при этом большие пластические деформации. Задача решается численно. Для описания пластического течения материала заготовки используется модель, учитывающая особенности деформационного упрочнения.

При анализе результатов численного моделирования проводится исследование закономерностей эволюции (НДС) материала заготовки и пресс-формы. Изменение размеров зерна в зависимости от накопленной плотности дислокаций, степени пластической деформации и температуры оценивается с помощью феноменологических соотношений. Показано, что при прохождении стержня через канал в объеме материала формируется неоднородное распределение неупругих деформаций. Разработанная вычислительная модель позволяет исследовать закономерности развития пластических деформаций, эволюции зерна при интенсивной пластической деформации при нагружении и оценивать НДС пресс-формы для корректировки ее геометрических параметров.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 г. ГК П666 от 19.05.2010 г., ГК 1235 от 27.08.2009 г., ГК П506 от 13.05.2010 г.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. А. Скрипняк.

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКЛАСТЕРОВ КРЕМНИЯ В ПЛЕНКАХ $\text{SiN}_x\text{:H}$ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЕЧНЫХ ОТЖИГОВ С ДАВЛЕНИЕМ ДО 11 КИЛОБАР И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

К. О. Бугаев

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Интерес к обогащенным кремнием пленкам нитрида кремния, содержащим кремниевые нанокластеры, вызван тем, что они имеют много перспективных областей для применения. Наиболее важными из данных областей являются новые оптоэлектронные устройства, элементы энергонезависимой памяти и солнечные элементы.

Пленки $\text{SiN}_x\text{:H}$ разного стехиометрического состава осажденные на подложки из монокристаллического кремния с применением плазмохимического метода при температуре 100 °С были подвергнуты печным отжигам. Отжиги длительностью 5 часов при температуре 1130 °С проводились в атмосфере аргона, как при нормальном давлении, так и при гидростатическом давлении 11 килобар. Оптические свойства пленок были исследованы с применением лазерной сканирующей и спектральной эллипсометрии, ИК-спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) и фотолюминесценции (ФЛ). По данным спектроскопии КРС в исходной пленке, в которой молярная доля избыточного кремния составляла больше половины, были обнаружены нанокластеры аморфного кремния, которые кристаллизовались в результате печных отжигов. Из анализа спектров КРС и данных электронной микроскопии размер нанокристаллов кремния в этом случае составлял 6–7 нм. В исходных пленках с небольшим количеством избыточного кремния ($\text{SiN}_x\text{:H}$, $x > 1$) кластеров кремния обнаружено не было. Печные обработки привели к формированию в данных пленках аморфных нанокластеров кремния. Данные ИК-спектроскопии свидетельствуют о частичной кристаллизации нитрида кремния в этих пленках в результате печного отжига и о наличии Si-H связей в них, даже после отжига. Влияния давления на структуру полученных нанокластеров кремния не обнаружено, но спектры ФЛ пленок почти стехиометрического нитрида кремния отожженных под давлением и без давления разительно отличаются. Вероятно, в этом случае давление стимулирует собирание избыточного кремния в аморфные нанокластеры с размерами до 2 нм.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. А. Володин.

СТАДИЙНОСТЬ ЛОКАЛИЗОВАННОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ОБРАЗЦОВ ИЗ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С ОТВЕРСТИЯМИ РАЗЛИЧНОГО ДИАМЕТРА ПО ДАННЫМ АКУСТО-ЭМИССИИ, КАРТИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ НА ПОВЕРХНОСТИ И ТЕНЗОМЕТРИИ

М. В. Бурков, П. С. Любутин, А. В. Бяков
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

В работе применяли комбинированный метод для исследования процессов деформации и разрушения образцов из углерод-углеродного композиционного материала с различными размерами концентратора напряжений – центрального отверстия с диаметрами 7, 10 и 13 мм.

Совместное использование акустической эмиссии (АЭ), оптико-телевизионной измерительной системы (ОТИС) и тензометрии, методов обладающих чувствительностью к носителям и деформационными структурами на различных масштабных уровнях, позволяет получить более полную картину локализации деформации и разрушения [1].

Образцы испытывали на одноосное статическое растяжение на электро-механической машине Instron 5582 со скоростью перемещения подвижного захвата 0,3 мм/мин. Фотографирование поверхности осуществляли с помощью фотокамеры Canon EOS 550, оснащенной длиннофокусным объективом Canon EF-S 100–400mm 1/4–5.6 IS. Для расчета величины интенсивности деформации сдвига γ выбирали определенную область изображения, находящуюся в центре образца, вокруг отверстия. Регистрацию АЭ осуществляли с помощью программно-аппаратного измерительного комплекса регистрации сигналов АЭ на базе ПК.

Численный анализ данных полученных с помощью ОТИС представляет собой диаграммы зависимости интенсивности деформации сдвига от времени нагружения. В качестве основного информативного параметра данных АЭ рассчитывали производные от накопления сигналов АЭ по времени (активность акустической эмиссии dN_z/dt).

1. С. В. Панин, А. В. Бяков, В. В. Гренке и др., Многомасштабное исследование стадийности локализованной пластической деформации при растяжении образцов сплава Д16АТ с надрезами акустико-эмиссионным и оптико-телевизионным методами. // Физическая мезомеханика. Том 12, №6, с. 63-72. 2009.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. С. В. Панин.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ЗАРОЖДЕНИЯ ТРЕЩИН КОРРОЗИОННОЙ УСТАЛОСТИ В МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЯХ

Е. Н. Бутусова, Д. Н. Котков, А. В. Нохрин, В. Н. Чувильдеев
Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Одна из актуальных задач современного материаловедения – проблема коррозионно-усталостного разрушения металлов и сплавов. Фундаментальный аспект этой задачи связан с изучением влияния параметров структуры металла на его С практической точки зрения актуальность этой задачи связана с необходимостью решения практической задачи обеспечения безопасной работы металлоконструкций, эксплуатируемых в экстремальных условиях. Целью настоящей работы является исследование влияния структуры на механизмы коррозионно-усталостного разрушения малоуглеродистых сталей.

В качестве объектов исследования выступали низколегированные малоуглеродистые стали различного химического и фазового состава, находящиеся в различных структурных состоянии (до и после длительной эксплуатации). Коррозионно-усталостные испытания проводилось по схеме «консольный изгиб» в 3%-ном водном растворе NaCl в интервале амплитуд напряжений до предела прочности. В ходе испытаний определялось число циклов нагружения до зарождения трещины (N_0), количество циклов до разрушения образца (N^*), а также зависимость скорости роста трещины от напряжения $V_{тр}(\sigma)$.

Показано, что N_0 и $V_{тр}$ существенно зависят от параметров структуры стали – концентрации углерода в твердом растворе феррита и объемной доли частиц структурно-свободного цементита, выделяющегося по границам зерен феррита в процессе длительной эксплуатации. Увеличение объемной доли частиц карбидов приводит к уменьшению числа циклов N_0 и N^* , а также к увеличению скорости роста трещины.

Проведенные исследования показали, что зависимость $V_{тр}(\sigma)$ имеет близкий к экспоненциальному характер. Установлено, что угол наклона зависимости $V_{тр}(\sigma)$ в полулогарифмических координатах зависит от химического и фазового состава стали, а также ее структурного состояния.

Для объяснения наблюдаемых зависимостей предложена физическая модель зарождения трещины. На основе разработанной модели проведен анализ влияния структурных факторов (объемной доли и размера частиц карбидов) на параметр N_0 . Результаты расчетов сопоставлены с экспериментальными данными.

Работы выполнены при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ СУБМИЛЛИМЕТРОВОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ФРАГМЕНТОВ ДНК

М. С. Вагин

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Для переноса ДНК в аэрозольную фазу используется метод терагерцовой лазерной абляции. Очевидным плюсом этого метода является возможность бездеструктивного переноса [1], поэтому развитие применимости метода к исследованию биологических объектов является перспективным.

Для объектов одной природы (полимеров, белков, ДНК и пр.), размеру частиц в аэрозольной фазе возможно сопоставить различные параметры исходных молекул (длину полимерной цепи объекта, по которой можно определить массу, подвижность и пр.). В дальнейшем, имея множество градуировочных кривых для различных классов объектов, можно будет, измеряя размер какого-либо нового вещества, предсказать его молекулярные свойства. Также важна скорость, точность и удобство проведения эксперимента.

В рамках проведённых работ по исследованию закономерностей генерации аэрозольных наночастиц в ходе терагерцовой абляции макромолекул, продолжены исследования зависимости размера аэрозольных фрагментов ДНК фага λ -hind от длины их цепи. При помощи диффузионного спектрометра аэрозолей (ДСА) определялся размер дисперсных продуктов терагерцовой лазерной абляции. В последний год задача исследований была усложнена, и вместо одномодовых фракций исследовались многомодовые, вводились полимерные стандарты. Вновь полученные данные хорошо соотносятся с данными прошлых лет и отлично дополняют их.

Полученные экспериментальные исследования подтверждают возможность успешного исследования синтетических, биологических и других полимерных систем методом субмиллиметровой лазерной абляции.

1. М. С. Вагин, А. С. Уницын и др. Исследование возможности определения масс биологических нанообъектов методом терагерцовой лазерной абляции. // Вестник НГУ. Серия: Физика, том 4, выпуск 3, стр.74. 2009.

Научный руководитель – канд. хим. наук А. С. Козлов.

КАЛИБРОВКА ГОНИОМЕТРА В МАЛЫХ УГЛАХ И УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЯЧЕЙКИ $[\text{Rh}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{WO}_4$

П. Ю. Ванина

Институт неорганической химии им. Н. В. Николаева СО РАН
Новосибирский государственный университет

В дифрактометрии поликристаллов существует проблема уточнения параметров элементарной ячейки (ПЭЯ) в малых углах. Для её решения обычно используют эталоны – кристаллические вещества с большими межплоскостными расстояниями. Однако известные эталоны обладают невысоким совершенством кристаллической структуры, что выражается в достаточно широких дифракционных линиях, т. е. отсутствии разрешенных дублетов α_1/α_2 . В настоящей работе предлагается принципиально новый подход, когда фаза эталона (металлоорганическое соединение) кристаллизуется непосредственно на держателе образца.

При приготовлении эталона суспензию мелкодисперсных порошков кремния и металлоорганического соединения (далее CuL2) растирали в ступке со спиртом и наносили на гладкую сторону стандартной кюветы. После высушивания образовался тонкий слой. Элеткронномикроскопическое исследование показало, что кристаллы CuL2 представляют собой длинные тонкие иглы и расположены параллельно поверхности кюветы. Рентгенографическое исследование проведено на дифрактометре ARL X'TRA (CuK_α -излучение, полупроводниковый детектор, геометрия Брэгга-Брентано, $T = 23 \pm 3$ °C) в области углов 2θ 3–60°. Дифрактограмма CuL2 проиндцирована по данным исследования монокристалла в тетрагональной ячейке. Установлено, что все дифракционные отражения имеют индексы типа $hk0$. Параметр ячейки CuL2 уточнен по внутреннему эталону Si ($a = 5,4309$ Å, № PDF 5-0565). Полученное значение, $a = 44,496$ Å использовано при построении калибровочной кривой $\Delta 2\theta(2\theta)$.

Полученная калибровочная кривая использована при уточнении ПЭЯ биметаллической комплексной соли $[\text{Rh}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{WO}_4$, структура которой была определена в работе [1].

1. С. П. Храненко, Е. А. Шушарина, А. И. Смоленцев, П. Е. Плюснин, С. А. Громилов, Кристаллическая структура $[\text{Rh}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{WO}_4$, Журнал структурной химии, Т. 51, №4, 601. 2010.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук С. А. Громилов.

КОНТРОЛЬ РАЗМЕРОВ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПО КОНТРАСТУ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТЕСТ-ОБЪЕКТА

А. П. Вештемов

Алтайский государственный технический университет
им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

В промышленности методы контроля и измерения размеров мелкодисперсных частиц необходимы при производстве композиционных материалов, химической продукции, лекарственных средств.

В известных на сегодняшний день измерительных приборах мелкодисперсных частиц используются коллимированные световые потоки. Тест-объектом коллимированного светового потока является элементарная точка, имеющая ограниченный набор свойств. Для увеличения производительности и упрощения конструкции системы можно использовать тест-объект в виде парных параллельных штрихов на темном поле и вести обработку сигнала с помощью ПЗС-фотоприемника [1].

В данной работе представлен анализ зависимости десятичного логарифма контраста оптического изображения тест-объекта от десятичного логарифма максимального сигнала и десятичного логарифма контраста изображения в чистой фазе. Данная зависимость представлена в виде линейной функции, в которой постоянной величиной является десятичный логарифм контраста изображения чистой фазы, а десятичный логарифм максимального сигнала определяется тангенсом угла наклона.

Используя эталонные мелкодисперсные частицы ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» (г. Санкт-Петербург) с размерами 500 нм, 1000 нм и компании Polysciences Inc., калиброванных по стандартным образцам Национального института стандартов и технологий США (NIST), с размерами 50 нм, 100 нм и 500 нм, экспериментально была получена функция зависимости размера мелкодисперсных частиц от контраста изображения тест-объекта [2].

1. Кальной Д. Г., Пронин С. П. Моделирование процесса контроля размеров и концентрации мелкодисперсных частиц по оптическому изображению тест-объекта // Ползуновский вестник. №2/2010. С. 135–139.

2. Вештемов А. П., Пронин С. П. Измерение мелкодисперсных частиц карбоната кальция по известным калибровочным графикам // Ползуновский альманах. №2/2010. С.108-109.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. С. П. Пронин.

ПЕРВОЕ НАБЛЮДЕНИЕ АВТОБЛОКИРОВКИ ДИСЛОКАЦИЙ В МАГНИИ

А. М. Власова¹, Б. А. Гринберг¹, М. А. Иванов²,
Н. А. Кругликов¹, О. В. Антонова¹

¹ Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург

² Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины, г. Киев

Эффект автоблокировки, заключающийся в превращении дислокаций при нулевом внешнем напряжении из скользящих конфигураций в заблокированные, был предсказан теоретически, а затем обнаружен в интерметаллидах $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Nb})$, TiAl и Ni_3Ge . Впервые автоблокировка дислокаций наблюдается не в химическом соединении, а в чистом металле Mg, (ГПУ), который проявляет температурную аномалию предела текучести при динамическом нагружении.

Монокристалл магния деформировали примерно на 2 % при $T = 150^\circ\text{C}$.

Ось нагружения совпадала с осью $\langle 0001 \rangle$ с точностью 1° . В результате было подавлено скольжение \mathbf{a} -дислокаций. Действующими были только системы пирамидального скольжения II рода.

Было обнаружено, что при медленном охлаждении, имитирующем нагрев без нагрузки, дислокации вытягиваются вдоль выделенного направления $\langle 1\bar{1}00 \rangle$, параллельного линии пересечения плоскостей пирамиды II рода $(11\bar{2}2)$ и плоскости базиса. Таких выделенных направлений в плоскости базиса три, угол между ними 60° (рис. 1).

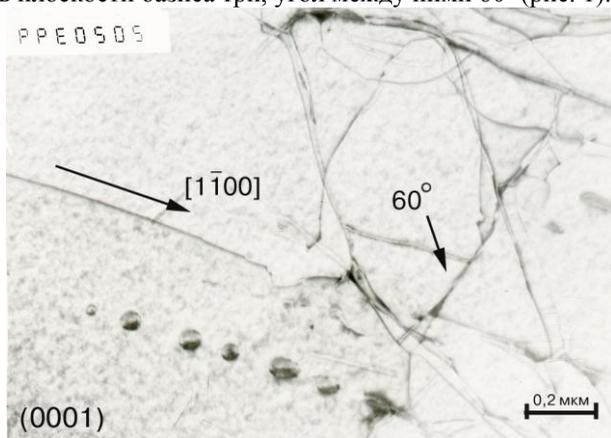


Рис.1. Электронно-микроскопическое изображение дислокационной структуры Mg после предварительной деформации и охлаждения с печью

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Б. А. Гринберг.

СОБСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СДВИГ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ АТОМОВ, ПОМЕЩЕННЫХ В ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Р. Х. Гайнутдинов, М. Х. Салахов, М. А. Хамадеев
Казанский (Приволжский) федеральный университет

Теоретические аспекты взаимодействия света с веществом в фотонных кристаллах сразу вызвали у исследователей большой интерес [1]. Большинство работ традиционно было сконцентрировано вокруг расчета лэмбовского сдвига атома водорода в условиях фотонных кристаллов, поскольку лэмбовский сдвиг – это – и исторически, и практически – самый главный феномен квантовой электродинамики. Интересен тот факт, что результаты расчетов, получаемые авторами разных работ, очень сильно различались по порядку величин и по значимости взаимодействия с вакуумом [1–4]. Долгие споры дали, наконец, ответ на этот вопрос: было предсказано немарковское поведение и гигантский лэмбовский сдвиг [5]. Характерной особенностью всех работ является формальное применение стандартных процедур регуляризации и перенормировки. Однако, как будет показано в данной работе, последовательный анализ всех стандартных процедур может привести к неожиданным следствиям. Будет показано, что особенности фотонных кристаллов как среды существенным образом скажутся не только на лэмбовском сдвиге атомных уровней, но и на характере взаимодействия частиц с вакуумом в целом. Предсказываемый новый эффект, доступный экспериментальной проверке, предполагается использовать при создании оптических систем и излучателей с прецизионной настройкой резонансных частот.

-
1. S. John, J. Wang, *Phys. Rev. Lett.*, **64**, №20, 2418. 1990.
 2. S. Y. Zhu, Y. Yang, H. Chen, H. Zheng, and M. S. Zubairy, *Phys. Rev. Lett.*, **84**, №10, 2136. 2000.
 3. Z. Y. Li, Y. Xia, *Phys. Rev. B*, **63**, №12, 121305. 2001.
 4. Xue-Hua Wang, Ben-Yuan Gu, Yuri S. Kivshar, *Phys. Rev. B*, **93**, №7, 073901. 2004.
 5. D. P. Fussell, R. C. McPhedran, C. Martijn de Sterke, *Phys. Rev. E*, **72**, №4, 046605. 2005.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Р. Х. Гайнутдинов.

СВОЙСТВА АЛЮМОФOSФАТНЫХ ЦЕОЛИТОВ В ОТНОШЕНИИ АДСОРБЦИИ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА

И. В. Грнев

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Цеолитсодержащие катализаторы широко применяются в различных каталитических процессах, в том числе алюмофосфатные цеолиты используются, например, в реакциях олигомеризации этилена. Основным методом исследования пористой структуры цеолитсодержащих катализаторов являются сорбционные методы. Важную роль при исследовании микропористой структуры играет выбор сорбата. В данной работе применялась адсорбция азота и водорода при 77 °К.

Целью данной работы является исследование адсорбционных свойств поверхности алюмофосфатных материалов в отношении сорбции H₂ при 77 °К, а также установление корреляционной зависимости плотности сорбированного водорода в цеолитах AIPO от размера их каналов.

В работе исследованы алюмофосфатные цеолиты AIPO-31, AIPO-5, AIPO-11, AIPO-36. Сорбционные измерения были проведены на автоматизированной установке объемного типа DigiSorb-2600 Micromeritics. Рентгеноструктурный анализ цеолитов проводили на дифрактометре ARL X'TRA с монохроматизированным CuK_α излучением.

По сорбции паров азота определены объемы микропор и удельные поверхности мезопор каждого из образцов. Так же рассчитано распределение мезопор по размерам. Измерены параметры элементарных ячеек исследованных цеолитов.

Изотерму сорбции H₂ при 77 °К в общем виде можно представить как:

$$A(P) = A^0 + S_{\alpha} \cdot \alpha(P) + V_{\mu} \cdot \beta(P, d),$$

где A^0 – величина специфической сорбции, S_{α} величина удельной поверхности мезо- макропор, $\alpha(P)$ – величина абсолютной адсорбции H₂, V_{μ} – объем микропор, $\beta(P, d)$ – плотность сорбированного водорода в объеме микропор с диаметром пор d . Таким образом из экспериментальных изотерм адсорбции можно оценить величину $\beta(P, d)$.

Определены значения абсолютных величин адсорбции водорода на поверхности мезопор $\alpha(P)$ для кристаллического материала, не содержащего микропор. Рассчитана плотность сорбированного водорода в объеме микропор $\beta(P, d)$ для образцов AIPO-31, AIPO-5, AIPO-11, AIPO-36, а также изобары сорбции при вариации размеров каналов цеолитов. Использование этих параметров позволит в дальнейшем усовершенствовать методы расчета распределения микропор по размерам.

Научный руководитель – д-р хим. наук В. Ю. Гаврилов.

ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛЕНОК ФТАЛОЦИАНИНА ВАНАДИЛА(IV) И ГЕКСАДЕКАФТОРФТАЛОЦИАНИНА ВАНАДИЛА(IV)

И. С. Дубков^{1,2}, В. А. Пляшкевич¹

¹ Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН

² Новосибирский государственный технический университет

В настоящее время фталоцианины являются достаточно интенсивно изучаемым классом соединений. Интерес к фторзамещенным фталоцианинам стал повышаться в последнее десятилетие из-за проявления их пленками преимущественно электронной проводимости, а не дырочной, которая присуща их незамещенным аналогам [1].

В работе методами РФА (ARL X'TRA, $\text{CuK}\alpha$ -излучение) и КР-спектроскопии (Triplane, SPEX, лазер $\lambda = 488$ нм) исследованы пленки фталоцианина ванадила(IV) – **VOFc** и его фторированного аналога – **VOFcF₁₆**, полученные методом термической сублимации исходных соединений в вакууме на Si пластинках. Толщина пленок ~ 500 Å.

Дифрактограмма **VOFc** пленки представлена порядками отражений от кристаллографической плоскости с межплоскостным расстоянием $d = 11,76$ Å. Их положения хорошо совпадают с теоретическими для триклинной фазы-II **VOFc**. При отжиге пленки **VOFc** (вакуум, $T = 250$ °C, 5 часов) происходит уменьшение d до $11,57$ Å, что может свидетельствовать об образовании новой кристаллической модификации.

Дифрактограмма пленки **VOFcF₁₆** представлена единственным отражением с шириной $\sim 0,4^\circ 2\theta$ от кристаллографической плоскости с $d = 13,76$ Å. После отжига это отражение исчезает, но появляется острый пик с $d = 3,09$ Å.

В КР-спектре исходной пленки **VOFcF₁₆** наблюдается интенсивная полоса внеплоскостного колебания $\text{V}=\text{O}$ на 900 cm^{-1} , и одновременно не проявляются полосы плоскостных колебаний связей $\text{C}-\text{F}$ при 1020 cm^{-1} и деформационных колебаний макроцикла при 662 cm^{-1} . После отжига не наблюдаются ни интенсивные плоскостные, ни внеплоскостные колебания, что указывает на образование поликристаллических пленок без преимущественной ориентации.

Таким образом, было показано, что отжиг пленок фталоцианина ванадила(IV) и его фторзамещенного аналога приводит к существенным изменениям в структуре пленок этих комплексов.

1. D. Schlettwein, H. Tada, S. Mashiko, Langmuir, 16, 2872. 2000.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук С. А. Громилов.

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИИ СПЛАВА Д1

Г. М. Дюсупова, Г. Б. Мухаметхан, Г. Ю. Зубрилов
Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Сплав Д1 относится к системе Al-Cu-Mg-Mn. Он упрочняется термической обработкой. Сплав хорошо обрабатывается в холодном и горячем состояниях. Температурный интервал горячей деформации 310–470 °С. Охлаждение после горячей деформации на воздухе. Прессованные профили имеют пониженную коррозионную стойкость. Сплав хорошо сваривается точечной сваркой. Профили из сплава Д1 могут поставляться в закаленном и естественно состаренном, а так же в отожженном состояниях.

В данной работе обсуждается вопрос о связи структуры и механических свойств сплава Д1. Целью эксперимента являлось определение влияния механической активации поверхности сплава Д1, реализуемой при трении скольжении и температурной активации на фазовые и элементные изменения трущихся поверхностей.

Проведены исследования структуры и фазового состава исходного образца и после обработки трением с помощью рентгеноструктурного анализа; химический состав исследован с помощью микрозонда в сканирующем электронном микроскопе; с помощью микротвердомера ПМТ-3 исследована микротвердость поверхности.

В работе обнаружено образование новых фаз в области контакта трущихся поверхностей. Причина появления новых фаз связана с твердофазными превращениями, инициированными механической нагрузкой, превышающей предел текучести материала в зоне контакта.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент
Р. Б. Абылкалыкова.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОННОГО ПЕРЕНОСА В УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ

В. Е. Егорушкин, Н. В. Мельникова, А. Н. Пономарев, Н. Г. Бобенко
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

В последнее время внимание многих ученых привлекает проблема теоретического описания транспортных свойств углеродных нанотрубок (УНТ). Существуют различные подходы помогающие предсказать поведение этих свойств при различной температуре. Как показал анализ литературы, в настоящее время не существует теории, которая позволила бы однозначно и достоверно описать особенности низкотемпературного поведения электронных транспортных свойств УНТ.

Для описания электропроводности, электронной проводимости и термоэдс при низкой температуре мы воспользовались соответственно классическими формулами Друде, Видемана-Франца и Мота. Также с помощью квантово-механической техники было вычислено электронное время релаксации, необходимое для расчета остальных свойств.

Расчеты были проведены как в общем виде, так и для конкретных значений различных параметров УНТ и температур (диаметра, длины, концентрации примесей) [1–2]. Для всех рассмотренных свойств наблюдалось хорошее согласие с экспериментальными данными при температуре ниже 45 °К.

Результаты наших расчетов показали, что низкотемпературное поведение электросопротивления и термоЭДС в УНТ может определяться упругим электронным рассеянием на ближнеупорядоченных областях. При этом для величины сопротивления определяющей является концентрация носителей тока, а для термоЭДС это не важно.

1. V. E. Egorushkin, N. V. Melnikova, A. N. Ponomarev, The role of structural inhomogeneities in the temperature behavior of the thermopower in metallized nanotubes with impurities, Russian Physics Journal 52, 252–264. 2009.

2. V. E. Egorushkin, N. V. Melnikova, A. N. Ponomarev, A. A. Reshetnyak, Anomalous thermal conductivity in multiwalled carbon nanotubes with impurities and short-range order J. Physics: Conference Series 248, 012005. 2010.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Н. В. Мельникова.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОКОМПОЗИТОВ С НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА В МАТРИЦЕ СОПОЛИМЕРОВ 1-ВИНИЛ-1,2,4-ТРИАЗОЛА С КРОТОНОВОЙ КИСЛОТОЙ

А. И. Емельянов, А. С. Поздняков, Р. Г. Султангареев, Г. Ф. Прозорова
Иркутский государственный технический университет
Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН

Полимерные наноконпозиты находят широкое практическое применение в различных областях науки и техники. Это связано с сочетанием свойств полимерных матриц и наночастиц различных металлов.

В данной работе авторами исследуются наноконпозиты на основе наночастиц серебра в матрице сополимеров 1-винил-1,2,4-триазола с кротоновой кислотой. Наноконпозиты были получены химическим методом восстановления азотнокислого серебра боргидридом натрия в водном растворе сополимера.

Состав и структура наноконпозитов подтверждены данными ИК, ЯМР спектроскопии, а также элементным и рентгенографическим анализами.

В УФ спектрах водных растворов наноконпозитов появляются полосы плазмонного поглощения с максимумами в области 412 нм, характерные для наночастиц серебра в нульвалентном состоянии.

Согласно результатам просвечивающей электронной микроскопии в наноконпозитах наблюдается равномерное узкодисперсное распределение наночастиц в матрице сополимеров.

Полученный наноконпозит характеризуется хорошей растворимостью в воде и органических растворителях (ДМСО, ДМФА) и электропроводностью ($2,4 \times 10^{-12}$ См/см).

Методом синхронного термического анализа (Netzsch STA 449 Jupiter) исследованы термические характеристики синтезированных наноконпозитов. Установлено, что термостойкость достигает 300 °С, а полная термодеструкция наблюдается при 650 °С. При температуре 960 °С наблюдается экзотермический эффект, обусловленный плавлением металлического серебра.

Полученные наноконпозиты перспективны в медицине, при разработке биосовместимых водорастворимых антисептиков и диагностических систем.

Научный руководитель – д-р хим. наук Г. Ф. Прозорова.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ ДЕФЕКТОВ РЕШЁТКИ С НЕРАВНОВЕСНЫМИ ГРАНИЦАМИ ЗЁРЕН В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Е. А. Жарков

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Основная идея метода электроимпульсного плазменного спекания состоит в высокоскоростном нагреве порошкового материала путём пропуска импульсного тока с одновременным приложением гидростатического давления. Главной отличительной особенностью является неравновесность процессов, происходящих при спекании. Электроимпульсное плазменное спекание происходит с большим выигрышем во времени и практически всегда наблюдается снижение температуры спекания. Сокращение времени и снижение температуры спекания существенно уменьшает интенсивность роста зёрен в материале, что имеет принципиальное значение для спекания наноструктурных материалов.

Важной задачей теории является описание кинетики усадки в процессе спекания. Кинетика усадки в общем случае определяется дефектной структурой спекаемого материала и параметрами технологии. Необходимо учитывать исходные дефекты структуры порошка, и дефекты, образующиеся в процессе спекания. При этом дефекты могут быть равновесными и неравновесными. Такими дефектами являются вакансии, дислокации и границы зёрен. Исходная концентрация неравновесных дефектов определяется технологией изготовления порошка. Необходимо подчеркнуть важную роль границ зёрен, так как диффузия по границам зёрен является одним из основных механизмов спекания. В [1] показано, что в результате взаимодействия с дефектами решётки граница переходит в неравновесное состояние, при этом понижается энергия активации зернограничной диффузии. В соответствии с [1], микроскопическим параметром, характеризующим структурное состояние и степень неравновесности границы является её свободный объём.

В работе описана кинетика процесса спекания в случаях низкой и высокой степени неравновесности дефектов решётки и границ зёрен. Показано, что неравновесное состояние границ зёрен приводит к характерным «всплескам» на кривой спекания.

1. В.Н. Чуви́льдеев. Неравновесные границы зёрен в металлах. Теория и приложения. М.: Физматлит, стр. 304 с. 2004.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Н. Чуви́льдеев.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ НАНОКОМПОЗИТОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

А. М. Жармухамбетова, М. В. Коробенков, А. А. Козулин, В. В. Скрипняк
Томский государственный университет

В работе представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований влияния структурных факторов на механические свойства керамических нанокomпозитов составов $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-MgO}$, и структурированной пористой Al_2O_3 керамики при квазистатических и динамических воздействиях.

Предварительно было проведено исследование микроструктуры керамических образцов. Структура керамических материалов исследована методами сканирующей зондовой микроскопии, сканирующей электронной микроскопии, оптической микроскопии. Последующее исследование механического поведения образцов нанокерамики в условиях квазистатического и динамического нагружения проводилось с использованием сервогидравлического стенда Instron VHS 40/50–20 по стандартным методикам.

В ходе работы получены экспериментальные данные о поровой и кристаллической структуре опытных образцов керамических материалов, созданных на основе отечественных наноструктурных порошков. Обнаружено, что основной вклад в интегральную пористость нанокomпозитов вносят поры микронного размера, а на субмикронном уровне формируется субструктура из кластеров пор с размерами в десятки и сотни нанометров.

Результаты исследований показали, что керамические нанокomпозиты $0,3 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0,7 [(\text{ZrO}_2 - 3 \% \text{ Y}_2\text{O}_3) - 0,056 (\text{Al}_2\text{O}_3 - 1,5 \% \text{ MgO})]$ обладают изгибной прочностью 540 ± 7 МПа, что превышает известные значения для аналогичных композитов $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2 - \text{Y}_2\text{O}_3$.

Полученные экспериментальные данные о деформации, накоплении повреждений в опытных образцах керамических композиционных материалов при испытании на сжатие в широком диапазоне скоростей деформации показали, что исследованные композиты обладают повышенной прочностью на сжатие, величина которой достигает $1,3 \pm 0,1$ ГПа.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 г. ГК П604 от 06.08.2009 г., ГК П1247 от 07.06.2010 г., ГК П1228 от 27.08.2009 г.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. А. Скрипняк.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ГРАФЕНА МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Е. В. Жиров

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН
Новосибирский государственный университет

Графен — монослой атомов углерода, имеющий гексагональную структуру, обнаруженный в природе в 2004 г. Графен вызывает большой интерес из-за своих электронных и механических свойств. Первые эксперименты показали, что он является самым прочным материалом в природе [1]. В данной работе исследуются механические свойства графена методом молекулярной динамики.

Для описания взаимодействия атомов углерода используется полуэмпирический химический потенциал AIREBO [2].

В численных экспериментах по растяжению графена получены: модуль Юнга, коэффициент Пуассона и критическая сила разрушения графена. Исследовано влияние температуры на процессы деформации и разрушения графена, влияние: хирального угла кристаллической решётки, краевых эффектов и зажимов. Так же изучено влияние модификации поверхности атомами водорода на его деформационные характеристики. Результаты численных расчетов хорошо согласуются с экспериментом [1] и квантовомеханическими расчетами [3].

В результате численных экспериментов по сжатию в плоскости листа графена, получены критические силы, при которых графен теряет устойчивость. В результате сравнения с классической теорией устойчивости пластин [4] показано, что потенциалы типа Tersoff (модификацией которого является потенциал AIREBO) не достаточно точно описывает изгибную деформацию в графене.

1. Lee C., Wei X., Kysar J. W., Hone J. Measurements of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene. // *Science*. 2008. V. 321. P. 385–388.

2. Stuart, Tutein, Harrison, *J Chem Phys*, 112, 6472-6486 (2000).

3. Ю. Г. Яновский, Е. А. Никитин, Ю. Н. Карнет, С. М. Никитин. Квантово-механическое исследование механизма деформации и разрушения графена. // *Физическая мезомеханика*. 07–08.2009. Т. 12. № 4.

4. Ю. Н. Работнов. *Механика деформируемого твёрдого тела*. // М.: «Наука». 1988.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук проф. С. П. Киселев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОПОРОШКА ДИОКСИДА КРЕМНИЯ НА ЕГО СВОЙСТВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МЕТОДОМ ИСПАРЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

А. П. Завьялов

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

Нанопорошки различных веществ используются во многих областях современной промышленности для улучшения качества выпускаемой продукции. На базе ИТПМ и ИЯФ СО РАН существует полупромышленная установка для получения нанопорошков методом испарения электронным пучком. Для создания производства и успешного внедрения в промышленность, необходимо контролировать характеристики производимых порошков. Ранее в условиях описываемой установки диоксид кремния получали в больших масштабах (до 7 кг/ч), однако методы контроля условий производства требуют дальнейшего развития. Решению этой проблемы и посвящена данная работа.

Результатом работы явилось создание установки по получению нанопорошков диоксида кремния в малых масштабах (до 50 г/ч) для исследования влияния условий производства на характеристики получаемого нанопорошка, особенностью которой является возможность контролировать расход воздуха через сублиматор, где происходит испарение исходного вещества, а так же возможность добавлять пары других веществ (воды и тетраэтоксисилана $\text{SiO}_4(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ – ТЭОС) в производственный тракт на различных этапах формирования конечного продукта.

На данной установке исследовано влияние расхода воздуха через систему, тока пучка электронов и присутствия паров различных веществ в области сублиматора на удельную поверхность производимого нанопорошка. Полученные зависимости согласуются с качественными представлениями.

С целью создания одностадийного процесса производства гидрофобного нанопорошка были проведены эксперименты по изучению влияния паров воды и ТЭОС на свойства поверхности наночастиц получаемого продукта. Результаты измерения поверхностной концентрации ОН и C_2H_5 групп свидетельствуют о небольшом изменении соответствующих концентраций.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. П. Бардаханов.

МОЛЕКУЛЯРНО ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СУПЕРСТРУКТУР НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОПЛЕНОК

А. М. Игошкин

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

Современные технические приложения, например микроэлектроника, предъявляют повышенные требования к параметрам используемых в них тонких пленок. Поэтому в настоящее время так востребованы исследования формирования наноструктур с управляемыми свойствами на поверхности подложки. Данные исследований показали, что различные PVD и CVD методики на текущий момент являются наиболее перспективными методами осаждения тонких пленок и им уделяется больше всего внимания. Однако, в настоящее время изучение совокупности механизмов, ответственных за формирование наблюдаемых структур тонких пленок, далеко не завершено. Для выявления этих механизмов необходимы различные методы исследования процессов на атомарном уровне. К ним относятся метод молекулярной динамики, Монте-Карло, а также прямые квантовые расчеты. Самым мощным среди них при работе с системами порядка нескольких тысяч атомов является метод молекулярной динамики, что обуславливает его актуальность при решении данной задачи. Металлизация поверхности – многосоставная задача, и одной из самых важных ее подзадач является формирование границы раздела осажденный слой – подложка. Для ее исследования часто изучают гетероструктуры из материалов, наиболее отличающихся по параметру решетки. В случае переходных металлов это, как правило, медь и серебро или никель и золото.

В данной работе методом молекулярной динамики изучается формирование суперструктур на границе раздела Ag / Cu. Конкретно рассматривается формирование нанослоя на поверхности медной подложки путем моделирования осаждения серебра из газообразной фазы с последующим детальным анализом. Исследуется влияние ориентации, температуры, а также напряженного состояния подложки на формирование границы раздела этих материалов. В ходе работы получен ряд важных закономерностей, подтвержденных проводившимися ранее экспериментальными исследованиями.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент И. Ф. Головнев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ НАНОПЛЁНОК ТИТАНА, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ МАГНЕТРОНА С ПОВЫШЕННОЙ ОБЛАСТЬЮ РАСПЫЛЕНИЯ

Б. А. Колчанов

Новосибирский государственный университет

Функциональные свойства материалов зависят от методов, технологий их получения. При использовании магнетронных распылительных систем появляется перспектива нанесения металлических плёнок и покрытий с регулируемыми и заданными свойствами. Для экспериментов с титановыми плёнками появляется возможность получать равномерные плёнки металла и его оксида, плёнки которого проявляют оптические, каталитические и гидрофобные и другие интересные свойства. Важной характеристикой магнетронных распылительных систем является равномерность потока, связанная с магнито-электрической системой. Как правило, функциональные свойства, в данном случае – оптические, связаны с морфологией поверхности и структурой полученного материала. В данной работе плёнки титана различной толщины исследовались с целью выяснения особенностей спектрального пропускания, т.е. зависимости спектральной прозрачности от толщины покрытия. Мы исследовали оптические свойства плёнок с помощью спектрального прибора «SHIMADZU UV3600» в диапазоне 180 нм – 3.3 мкм при различных толщинах плёнки: от единиц нанометров до 100 нм. В докладе обсуждаются особенности полученных результатов. Морфология поверхности исследована с помощью атомно-силового микроскопа «НаноСкан-3D» и сканирующего электронного микроскопа «JSM-7700F» с разрешением не хуже 7–8 Å. Показано, что рельеф поверхности связан с параметрами синтеза. В результате проведённых исследований даны рекомендации по получению гладких плёнок титана, плёнок оксида титана, а также плёнок с развитой поверхностью, что может быть интересно для процессов химического синтеза и нанофотоники.

С целью увеличения области распыления мишени и получения более равномерного потока паров металла произведено моделирование магнетронной распылительной системы для различных магнитных систем. Мы использовали программу «Mermaid» ИЯФ СОРАН. Полученные результаты позволяют получить характеристики потока, обеспечивающие равномерность плёнок.

Работа выполнена в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы. 2009–2011 гг.».

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. С. Золкин.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОСТРУКТУРНОЙ КЕРАМИКИ В УСЛОВИЯХ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

М. В. Коробенков, С. С. Кульков, А. А. Козулин, В. В. Скрипняк
Томский государственный университет

В работе представлены результаты исследований поровой и кристаллической структуры, фазового состава и механических свойств опытных образцов наноструктурных керамических материалов на основе Al_2O_3 и MgO . Исследование микроструктуры выполнено с использованием методов зондовой сканирующей микроскопии и оптической микроскопии. Для исследования фазового состава применялся метод совмещенного термогравиметрического анализа. Для исследования механического поведения наноструктурной керамики использован сервогидравлический универсальный высокоскоростной испытательный стенд Instron VHS 40 / 50–20 и твердомер Duramin-500.

Обнаружено, что размеры кристаллитов в исследованных образцах нанокерамики имеют распределение, близкое к логнормальному, а средний размер кристаллитов составляет 71 нм. Образцы нанокерамики с поровыми структурами, характеризующимися материалы исследованного состава обладают изгибной прочностью $289 \pm \text{МПа}$, а при наличии поровых кластеров имеют пониженную изгибную прочность – $236 \pm 15 \text{ МПа}$. Исследованные композиты обладают повышенной прочностью на сжатие, величина которой достигает $1,52 \pm 0,05 \text{ ГПа}$ при пористости 0,88 %. Наибольший термодинамический эффект рекристаллизации обнаружен в нанокompозитах, которые в исходном состоянии обладали наименьшей пористостью 0,88 % и размерами зерна матрицы 70 нм.

Результаты исследования механических свойств наноструктурных керамических композитов при квазистатических и динамических воздействиях свидетельствуют о слабом влиянии на прочностные характеристики наноструктурных керамических материалов (прочность при сжатии, прочность при изгибе, вязкость разрушения) скорости деформации в диапазоне от 10^{-3} до 1 с^{-1} . Более существенные изменения прочностных характеристик этих материалов обусловлены влиянием фазового состава, пористости, размеров зерна.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 г. ГК П604 от 06.08.2009 г., ГК П1228 от 27.08.2009 г., АВЦП 2.1.2/13526.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. А. Скрипняк.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ

И. И. Куркина, С. А. Саввинов

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск

Гетероструктуры Si / SiGe / Si являются перспективными структурами для устройств оптоэлектроники, таких как детекторы и лазеры, диапазон излучения которых может достигать ТГц.

Целью данной работы является исследование процессов перезарядки квантовых уровней в многослойных гетероструктурах Si / SiGe / Si.

Структуры были получены методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложке Si (100) n-типа при температуре 400 °С. Содержание Ge составляло 15 % в слое SiGe толщиной 19,5 нм. Между квантовыми ямами расстояние составляло 30 нм. Буферный, верхний и слой SiGe были δ-легированы бором с разной для трех структур концентрацией, меняющейся в диапазоне от $3 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $3 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Поверхность исследуемой структуры была пассивирована монослоем 1-октадецена для нейтрализации поверхностного заряда.

Для исследования электрофизических параметров структуры использовались метод зарядовой спектроскопии (Q-DLTS) и измерение вольт-амперных характеристик (ВАХ) в интервале температур от 80 до 300 °К. Из полученных данных были построены зависимости Аррениуса и вычислены энергии активации (E_a) носителей заряда. Определены зависимости энергий активаций от напряжения $E_a(U)$ в трех температурных интервалах. Также были рассчитаны теоретические уровни в квантовых ямах.

В работе проводится обсуждение экспериментальных данных и сопоставление их с теоретическими значениями.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук С. А. Смагулова, канд. физ.-мат. наук Е. П. Неустроев.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИОКСИДА ТИТАНА ДЛЯ СКСЭ МЕТОДОМ АНОДНОГО ОКИСЛЕНИЯ

Е. А. Марьева

Технологический институт Южного федерального университета, г. Таганрог

Одной из актуальных проблем получивших развитие в современной науке в мире является проблема альтернативной энергетики. Наибольший интерес представляет развитие и исследование технологий создания солнечных элементов. Основным препятствием для повсеместного использования солнечных батарей является их дороговизна и сравнительно небольшой КПД. Одним из наиболее перспективных направлений решения этих проблем является разработка эффективных сенсibilизированных красителем солнечных элементов (СКСЭ), основным компонентом которых является диоксид титана.

Высокий интерес во всем мире к диоксиду титана определяется его уникальными физическими и химическими свойствами. Области применения TiO_2 являются фотокатализ (очистка воды и воздуха), реакции разложения воды для генерации водорода, сенсорика (биохимические и химические сенсоры) и СКСЭ.

Одним из наиболее перспективных методов получения наноразмерного TiO_2 для СКСЭ является метод анодного окисления титана во фторидном электролите. Электрохимическое анодирование – легкий и экономичный метод, обеспечивающий выращивание высокоупорядоченных нанотрубок TiO_2 , ориентированных перпендикулярно подложке. Преимуществами пленок TiO_2 являются высокая удельная площадь поверхности. Путем подбора нужной комбинации условий процесса анодирования могут быть сформированы массивы упорядоченных нанотрубок с различными геометрическими размерами (диаметр пор, длины и толщины стенок).

Метод анодного окисления позволяет получать слои диоксида титана с точностью до 10 нм. Важной стадией является подбор нужного режима для проведения процесса (состав электролита, величина напряжения, толщина слоя Ti на поверхности подложки). Нами установлено, что окисление титановой фольги или толстых слоев Ti (около 200 мкм) на подложке необходимо проводить при больших величинах напряжения, тогда как тонкие слои (до 10 мкм) требуют более низких значений напряжения, при окислении в электролите одного состава. Так для титановой фольги толщиной 250 мкм наиболее целесообразно использование напряжения 70 В, а для слоя Ti в 1 мкм на ИТО стекле – 20 В.

Научные руководители – д-р техн. наук, проф. А. Н. Королев; канд. техн. наук Л. А. Светличная.

СКАНИРУЮЩИЙ ИНФРАКРАСНЫЙ МИКРОСКОП

И. В. Мжельский

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН,
г. Новосибирск

Инфракрасный (ИК) микроскоп является уникальным средством для исследования температурных полей бесконтактным методом с высоким пространственным разрешением (3–5 мкм).

ИК микроскопы находят применение в исследовании пространственного температурного распределения и тепловой емкости элементов в органической и неорганической химии, биологии, исследовании полимеров, разработке микроэлектромеханических систем (MEMS), таких как микрореакторы, микротеплообменники, микроприводы, микросенсоры.

Актуальными являются задачи исследования эмиссии излучения с поверхности ИК светодиодов и поиска дефектов в микросхемах, собранных методом гибридной сборки. Дефекты в таких микросхемах невозможно исследовать, используя традиционную микроскопию. Но поскольку материалы, применяемые для создания микросхем, прозрачны в инфракрасной области спектра, их можно исследовать, используя ИК микроскопию.

Карта распределения температур позволяет обнаружить горячие участки и температурные градиенты, которые могут служить признаком местонахождения дефектов, приводящих к снижению эффективности и раннему отказу устройств.

Просмотр больших площадей тепловых полей (например, 1 см^2) с пространственным разрешением 3–5 мкм, требует применения ИК матриц большого размера ($> 1000 \times 1000$ пикселей) и сложного объектива. Изготовление ИК матриц большой размерности сопряжено с определёнными техническими трудностями.

В проекте используется фотоприёмное устройство (ФПУ) матричного типа с числом пикселей 128×128 . При разрешении 3 мкм на пиксель область, проектируемая на ФПУ, составляет всего 384×384 мкм. Поскольку исследуемые области могут иметь размеры в несколько сотен или тысяч квадратных миллиметров, то просматривать такие площади можно только при использовании сканирующей системы.

В данном проекте решается проблема обзора тепловых полей на больших площадях (порядка 10 см^2) с помощью сканирующей системы, для которой были разработаны аппаратные и программные средства.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Г. Л. Курышев.

EPR-SPECTROSCOPY OF NEW NANO-STRUCTURAL UNITS OF ALKALI-BORATE GLASSES CONTAINING IRON, SYNTHESIZED IN RADIATION FIELD OF ^{60}Co

M. M. Mirkamalov

Alisher Navoi Samarkand State University

Institute of Nuclear Physics of Uzbekistan Academy of Sciences

Previously we are carried out the experimental evidence that in optic (borate glasses with additions of $[\text{Fe}_2\text{O}_3; \text{CuO}]$) and laser phosphate glasses with protective additions of CeO_2 the aggregation degree of ion-activators (Fe^{3+} , Cu^{2+} , Ce^{3+} , Nd^{3+}) under common and thermoradiative melting changes in unusual manner: in the former case the dimension of chemical differentiating area increases, and therefore the aggregation degree of structural units in clusters increases also; in the second case optic and ESR data indicate on the reverse or on the decreasing of this value.

In this work the experimental and theoretical researches of radiative-induced paramagnetic centers in alkali-borate glasses at optimal composition (22 K_2O ; 78 B_2O_3) without and with additions Fe_2O_3 (0,1; 0,25; 0,5 mass %; in excess of 100 %) were pursued.

The prime objective of work is the elucidation of conditions for conservation of useful thermoradiative effect under synthesis of indicated glass in ^{60}Co γ -field and the study of the influence of duration (dose), dose power and temperature of remelting in γ -field. On the basis of obtained data, theoretical analysis and correlation of results with literature data were established by us:

a) thermoradiative conditions are equivalent to “powerful” oxidizing conditions with high efficiency of proceeding of radiative-chemical reactions with participation of atmospheric oxygen;

b) that thermoradiative influence leads to the appearance of new nano-structural units of $[\text{=B-O-O}']$, $[\text{≡B-O-O}']$, $[\text{=Fe}^{3+}\text{-O-O}']$, $[\text{≡Fe}^{3+}\text{-O-O}']$ types, which are not realized at usual conditions;

c) thermoradiative effect of small doses and its interpretation.

The development of dynamic-evolutionary conception led to foundational conclusion that by thermoradiative action on oxide glasses more disordered system of neighboring order can be obtained, than at the usual melting. It is considered to be the formation of structure of optic and paramagnetic properties for oxide glasses with specific structural groups which are the elements of system self-organization on clusterization level.

Study of glasses correlates with optical and EPR results in crystals $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, activated by TR^{3+} , where the detected cluster-type structure $[\text{AlO}_4]$.

Scientific advisers – docent A. A. Yusupov, docent A. N. Salakhitdinov.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА РАСТВОРИТЕЛЯ КАК СПОСОБ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОВАРНЫХ ФОРМ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ

Е. Н. Москвина

Тюменский государственный университет

На сегодняшний день в нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей отрасли основным способом борьбы с коррозионным разрушением металлов остается использование ингибиторов коррозии.

В условиях промысла ингибиторы коррозии применяются только в виде жидкой товарной формы, представляющей их 30–65 % раствор в том или ином растворителе. В соответствии с требованиями, предъявляемыми к товарным формам ингибиторов коррозии, они должны обладать хорошей текучестью и не замерзать или расслаиваться при хранении. В соответствии с этим подбирается растворитель для приготовления товарной формы реагента. Несмотря на то, что имеется большое число работ о влиянии растворителя на скорость физико-химических процессов, данные о возможной связи эффективности ингибиторов коррозии с составом их товарной формы практически отсутствуют. Более того, тип используемого растворителя в большинстве работ по данным реагентам вообще не указывается. Причина этого обусловлена сложившимся в литературе мнением, что эффективность ингибиторов коррозии определяется химическим строением входящих в них реагентов.

В работе впервые предлагается оптимизировать состав растворителя с целью повышения эффекта защиты ингибиторов коррозии на наноуровне оптическими и микроскопическими экспериментальными методами.

Показано, что ингибиторы коррозии на спиртовом растворителе, которые используются для приготовления большинства ингибиторов коррозии, находятся в своих водных растворах преимущественно в виде истинных молекулярных растворов. По мере снижения содержания спирта в бинарном растворителе (состоящего из смеси спирта и углеводорода) ингибитора коррозии, снижается и его растворимость в воде. В результате растворы из истинно молекулярных переходят сначала в состояние критических наноэмульсий с размерами частиц менее 100 нм, а затем и в состояние макроэмульсий. Экспериментально установлено, что реагенты, товарные формы которых в своих растворах способны находиться в виде частиц с размерами 20–100 нм, обладают наиболее высоким защитным эффектом. Т.о. для повышения эффективности ингибиторов коррозии требуется четкая оптимизация состава растворителя.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Л. П. Семихина.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРНЫХ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ РЕАГЕНТОВ НА НАНОУРОВНЕ ИНДУКТИВНЫМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Е. Н. Москвина, И. В. Кольчевская
Тюменский государственный университет

На примере реагентов, используемых в нефтяной промышленности для разрушения водонефтяных эмульсий (деэмульгаторов) и снижения коррозии металлов (ингибиторов коррозии) установлено, что эффективность данных реагентов существенно зависит от размера частиц, в виде которых они находятся в своих растворах. Причем максимальная эффективность у этих реагентов наблюдается в том случае, когда они способны находиться в своих растворах в виде наночастиц с размерами 20–100 нм. Известны несколько методик (оптических и микроскопических), которые позволяют оценить размеры этих частиц в растворах. Однако эти методы не дают ответа на вопрос, почему данный реагент находится в своих растворах в виде тех или иных частиц. Объяснить данный эффект можно только исследованием данных реагентов на уровне межмолекулярных взаимодействий, т.е. на наноуровне.

В работе показано, что для такого исследования очень перспективно использование индуктивного диэлектрического метода (L-метода). Этим методом у товарных форм рассматриваемых реагентов (жидкие концентрированные 40–65 % растворы нескольких высокомолекулярных соединений в том или ином растворителе) в диапазоне частот 15 кГц – 30 МГц регистрируется максимум тангенса угла диэлектрических потерь ($tg \delta_{max}$). Обосновано, что появление максимума $tg \delta$ обусловлено релаксацией молекул реагентов и характеризует их взаимодействие между собой.

Экспериментально установлено, что товарным формам реагентов, которые в своих растворах находятся преимущественно в виде отдельных молекул, образуя истинные молекулярные растворы, свойственно малое значение $tg \delta_{max}$, а, следовательно, и слабое взаимодействие между молекулами. И, наоборот, у реагентов, которые были способны находиться в своих растворах в виде микро- и даже макрочастиц с размерами более 500 нм, наблюдалось очень большое значение $tg \delta_{max}$ (более 2), указывающее на значительное межмолекулярное взаимодействие, способное удерживать молекулы реагента внутри столь крупных частиц.

Т. о. для обеспечения возникновения наночастиц реагентов в растворах с наиболее оптимальными размерами, необходима четкая оптимизация межмолекулярных взаимодействий в его товарной форме на наноуровне.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Л. П. Семихина.

ПРОЦЕССЫ ВЗРЫВНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ СПЛАВОВ АМГ7, АД31

Г. Б. Мухаметхан, Г. М. Дюсупова, Ф. М. Носков
Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Целью данной работы являлся анализ фазовых и структурных превращений, происходящих в металлических сплавах алюминия (АМГ7, АД31) при разных режимах пластической деформации, как инициатора процесса механохимической реакции. Исследуемые сплавы имеют широкое применение в технике и промышленности из-за легкости, пластичности и деформируемости. Образцы сплава АД31 были получены на ООО «СИАЛ» (г. Красноярск, РФ). Стандартные «свидетели» из 20 плавок подвергались растягивающей нагрузке до разрыва. Кроме того, исследовали 12 образцов из сплава АМГ7, не подвергнутых удару и подвергнутых одному, трем и шести ударам. Удар с энергией порядка 1 кДж осуществлялся на пневматическом молоте. При исследовании поверхности образцов на больших увеличениях в растровом электронном микроскопе (НИТАСНИ ТМ-1000) были обнаружены закристаллизовавшиеся металлические дендриты. Это свидетельствует о том, что в зоне деформации формировались частицы жидкой фазы.

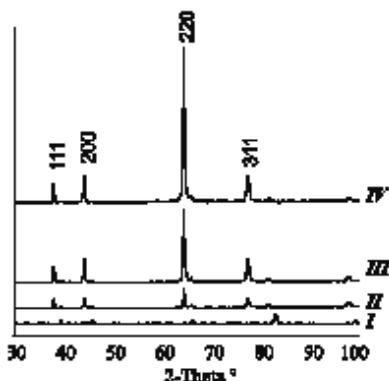


Рис. 1. Рентгенограммы сплава АМГ7 после динамического нагружения: I–исходный; II–1 удар; III–3 удара; IV–6 ударов

Показано, что в процессе ударного нагружения в сплаве АМГ7 происходит перераспределение химического состава в локальных областях, приводящее к образованию структурных неоднородностей.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Л. И. Квеглис.

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА ПАРАМЕТРЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ

М. В. Надежкин, А. А. Якушенко, И. М. Строев
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
Томский государственный университет

Аустенитные нержавеющие стали, упрочненные атомами внедрения, являются одним из приоритетных классов конструкционных материалов. Наводороживание аустенитных сталей приводит к хрупкому разрушению. Это обстоятельство является серьезной практической проблемой, от решения которой зависит безопасность работы конструкций.

В настоящей работе получены новые данные о влиянии элементов внедрения H на развитие локализации пластической деформации. Объектами исследований служили образцы ГЦК монокристаллов сталей Fe-18%Cr-12%Ni. Электролитическое насыщение водородом монокристаллов осуществляли в трехэлектродной электрохимической ячейке с графитовым анодом при постоянном контролируемом катодном потенциале $U = -500$ мВ, задаваемом относительно хлорсеребряного электрода сравнения, в 1N растворе серной кислоты с добавлением 20 мг/л тиомочевины при температуре 323 °К в течение 70 ч с предварительной продувкой азотом. Вольтамперные кривые фиксировались с помощью потенциостата IPC-Compact. Подготовленные монокристаллы растягивались на испытательной машине «Instron-1185» с одновременной регистрацией полей векторов перемещений $\mathbf{r}(x,y)$ точек на рабочей поверхности образцов методом спекл-фотографии [1].

Анализ распределений локальных удлинений вдоль направления оси растяжения образца $\varepsilon_{xx} = du/dx$ (u - компонента вектора перемещения $\mathbf{r}(x,y)$ в направлении оси растяжения x) позволил установить соответствие макрокопических картин локализации пластической деформации ГЦК-монокристаллов с кристаллографическими аспектами пластического течения (ориентация оси растяжения монокристаллических образцов, величина фактора Шмида, действующие системы скольжения монокристаллов) и влияние прочностных характеристик сталей, определяемых содержанием водорода, на параметры локализации пластической деформации.

1. Л. Б. Зуев, В. И. Данилов, С. А. Баранникова. Физика макролокализации пластического течения. Новосибирск: Наука, стр. 327. 2008.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доцент. С. А. Баранникова.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАДИЕНТА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ, СФОРМИРОВАННОГО ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ TiNi

А. А. Нейман, К. А. Ситник

Томский государственный университет

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Практический интерес к сплавам на основе никелида титана весьма широк. Использование электронно-лучевых воздействий (ЭЛВ) эффективно применяется для повышения прочностных характеристик поверхностных слоев металлических материалов без изменения их химического состава. Исследование градиентных структур, формирующихся в области воздействия возможно с привлечением метода твердомерии.

Целью данной работы является исследование твёрдости в локализованной вблизи поверхностной области образца, изменившейся в результате ЭЛВ и ее эволюция при последующем термическом воздействии.

Поверхность массивного образца из сплава $Ti_{49,5}Ni_{50,5}$, подготовленную механической шлифовкой и электролитической полировкой, модифицировали электронно-лучевым воздействием при следующих условиях: плотность энергии $E = 10 \text{ Дж/см}^2$, количество импульсов $N = 10$, длительностью $\tau = 50 \text{ мкс}$ с частотой следования $\nu = 0,3 \text{ Гц}$, давление рабочего газа $P_{Ar} = 3,5 \times 10^{-2} \text{ Па}$. Далее из этого образца в направлении, перпендикулярном облученной поверхности были вырезаны образцы. Затем их механически шлифовали до зеркального блеска. Впоследствии часть образцов отожгли в вакуумной печи при $T_{отж} = 673 \text{ }^\circ\text{К}$, $723 \text{ }^\circ\text{К}$, $773 \text{ }^\circ\text{К}$, время отжига $t_{отж} = 30 \text{ мин}$, охлаждение с печью. При таких режимах отжига мала вероятность выпадения вторичных фаз в данном сплаве [1].

В работе представлены результаты исследований изменения микротвердости в области с градиентной структурой, сформированной в результате ЭЛВ под поверхностью образца. Показано, что твердость поверхностных модифицированных слоев сплава более высокая по сравнению с твердостью основного материала. Обнаружено, что твердость поверхностных слоев зависит от термообработки. При увеличении температуры отжига наблюдается закономерное (с градиентом в поверхностном слое) изменение твердости модифицированных слоев TiNi. Сделана оценка глубины градиентной структуры, образовавшейся в результате ЭЛВ.

1. Лотков А. И., Гришков В. Н., Анохин С. В. Кузнецов А. В. Физика. №10. 1982. С. 11–16.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Л. Л. Мейснер.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПЛЕНОК $Cd_xHg_{1-x}Te$, ВЫРАЩЕННЫХ МЕТОДОМ МЛЭ НА ПОДЛОЖКАХ $GaAs(301)$ И $Si(301)$, МЕТОДОМ ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

М. А. Неклюдова, А. К. Гутаковский, И. В. Сабина
Новосибирский государственный университет
Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Твердые растворы $Cd_xHg_{1-x}Te$, выращенные на подложках $GaAs$ и Si , являются базовым материалом для создания фотоприемников инфракрасного излучения. Значительное отличие параметров решетки подложки и $Cd_xHg_{1-x}Te$ является основной причиной дефектообразования в эпитаксиальных слоях. Ранее было показано, что основными типами дефектов структуры являются дислокации несоответствия и связанные с ними прорастающие дислокации, дефекты упаковки (ДУ), микродвойниковые ламели и V-дефекты. Структурные дефекты приводят к ухудшению параметров приборов на основе слоев $Cd_xHg_{1-x}Te$. Поэтому, актуальной задачей является исследование механизмов формирования дефектов структуры в этих гетеросистемах (ГС) в зависимости от условий роста.

Исследовались пленки $Cd_xHg_{1-x}Te$ двух составов: с содержанием ртути 70% и 78%, выращенные на подложках $GaAs(301)$ и $Si(301)$. В качестве буферных слоев выращивались пленки $ZnTe$ толщиной 100 нм и $CdTe$ толщиной 6-8 мкм. Исследование проводилось методом ПЭМ и ВРЭМ на электронном микроскопе JEOL-4000EX. Образцы препарировались методом химико-механической полировки в виде тонких фольг, параллельных поверхности роста (301), и поперечных срезов (010).

Показано, что ДУ и микродвойники со средней плотностью $5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ наблюдаются по всей толщине ГС и формируются в плоскостях $\{111\}$ по механизму скольжения частичных дислокаций Шокли на стадии роста буферных слоев. При этом, плотность ДУ в плоскостях (111)А и (111)В различается примерно на порядок величины. Отжиг ГС при температуре 350°C в атмосфере Hg в течение 15-20 часов приводит к снижению плотности ДУ до значений $8 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$. Обсуждаются механизмы отжига ДУ.

При неоптимальных условиях роста слоев $Cd_xHg_{1-x}Te$ на подложках $GaAs(301)$ впервые был обнаружен эффект автомодуляции состава твердого раствора. Для оценки параметров модуляции проведено моделирование теоретических ВРЭМ изображений и сопоставление их с экспериментальными данными.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
А. К. Гутаковский.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

В. С. Некрасова, Н. В. Скрипняк, П. Н. Бондик, А. А. Козулин
Томский государственный университет

В работе представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований закономерностей деформации алюминиевого сплава АМг6 при испытаниях на предельные деформации в режиме динамической штамповки (испытания на прокол).

Актуальность экспериментальных исследований закономерностей деформации, предельных прочностных характеристик в условиях динамического нагружения сплавов АМг6 определяется дефицитом экспериментальных данных о механическом поведении при высоких скоростях нагружения и больших степенях деформации.

В процессе экспериментальных исследований на сервогидравлическом стенде Инстрон VHS 40 / 50–20 регистрировались изменения во времени усилий и смещения индентера при глубокой вытяжке листа 2 мм толщины. Образец в форме круглой пластины опирается на подвижную опору в виде кольца, индентор закреплен неподвижно. Опора с постоянной скоростью движется вдоль оси деформирования, перемещая образец в сторону взаимодействия с индентором. Взаимодействие индентора и образца происходит до достижения нагрузок соответствующих предельно-допустимым деформациям материала образца. Скорость опоры в экспериментах варьировалась от 5 до 20 м/с. Получены зависимости предельных деформаций до разрушения алюминиевых сплавов от скорости нагружения.

Результаты экспериментов использованы для калибровки модели механического поведения материалов Джонсона-Кука, учитывающей влияние на напряжение течения и предельную степень деформации материала температуры, степени деформации и скорости деформации. Моделирование условий экспериментов по динамическому проколу алюминиевых пластин выполнено с применением вычислительного комплекса Autodyn. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании технологических процессов динамического прессования, а также при оценке долговечности конструкций из сплава АМг6 в условиях динамических воздействий и больших степеней деформации.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 г. ГК П666 от 19.05.2010 г., ГК 1235 от 27.08.2009 г., ГК П506 от 13.05.2010 г.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. А. Скрипняк.

ВЛИЯНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СРЕДЫ CO+O₂ НА МИКРОСТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТИ ПАЛЛАДИЯ И РОДИЯ

В. В. Никулин

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Известно, что реакционная среда активно воздействует на катализатор, изменяя его состав и структуру. Поэтому крайне необходимо проводить исследования микроструктуры и химического состава поверхности платиновых металлов в реакционных средах. Методами растровой электронной микроскопии (РЭМ), рентгеновской энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС) и рентгеноструктурного анализа (РСА) был исследован процесс перестройки поверхности поликристаллических образцов палладия (Pd(poly)) и родия (Rh(poly)) в атмосфере CO + O₂ и температурах 500–1400 °К. Установлено, что в атмосфере CO + O₂ по мере увеличения температуры образцов протекающие процессы окисления металлов и реакция окисления CO приводят к глубокой микроструктурной перестройке поверхности этих металлов. Детальный анализ микроснимков поверхности образцов и сопоставление их с количеством поглощённого кислорода и рентгеноструктурными данными показывает, что по мере увеличения температуры образцов при T > 600 °К для Pd(poly) и T > 800 °К для Rh(poly) кислород начинает диссоциативно хемосорбироваться на поверхности этих образцов и постепенно растворяется в решётке металлов. После насыщения приповерхностных слоев образцов растворенным кислородом на поверхности металлов формируются частицы оксидов PdO и Rh₂O₃ с размерами 50–100 нм. При T ≥ 800 °К для Pd(poly) и T ≥ 1000 °К для Rh(poly) окисление металлов существенно ускоряется, в результате чего на поверхности образцов формируются микрокристаллы PdO и Rh₂O₃ размером 200–300 нм. Микрокристаллы постепенно растут и формируют сплошной оксидный слой. Для Pd(poly) при T = 900 °К в ходе интенсивного протекания реакции окисления CO по механизму Redox на поверхности кристаллов оксида образуется слой из атомов Pd. Атомы металла испаряются, образуя в приграничной газофазной области повышенное давление паров Pd. Вследствие этого на поверхности формируются вытянутые волокна металлического Pd диаметром ~ 50–100 нм и длиной до ~ 5000 нм. Для Rh(poly) в данных условиях образования металлических волокон обнаружено не было, поскольку, по-видимому, из-за низкой скорости реакции окисления CO по механизму Redox давление паров родия было чрезвычайно низким.

Научный руководитель – канд. хим. наук А. Н. Саланов.

АГРЕГАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ В КРИСТАЛЛАХ LiF, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ 150 МэВ ^{84}Kr

И. Н. Нышанбаева, Ж. Б. Жанузак, Б. З. Абдукадиров, А. Мухышбаева
Междисциплинарный научно-исследовательский комплекс,
ускоритель ДЦ-60, г. Астана, Казахстан
Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева

Потоки тяжелых ионов с энергиями в МэВ – ГэВ интересны для структурирования материалов в микро- и наноразмерном масштабе. В общем случае тяжелые ионы (например U, Pb и Au) вызывают значительную модификацию свойств по сравнению с легкими ионами. Однако облучение высокоэнергетичными тяжелыми ионами сопровождается такими нежелательными эффектами как набухание и дальнедействующими напряжениями. Результаты настоящего исследования показывают, что наноструктурирование в LiF также вызывается облучением легкими ионами Kr. С этой целью мы использовали ионы Kr 150 МэВ, энергетические потери которых превышают порог создания дефектной сердцевины трека (10 кэВ/нм). Облучение проводилось при флюенсе 10^{12} м⁻² обеспечивающим перекрытие треков. Исследования проводились методами оптической абсорбционной спектроскопии, АСМ, СЭМ и наноиндентирования.

АСМ и СЭМ результаты показывают создание объемных наноструктур в поверхностном слое, где энергетические потери превосходят порог 10 кэВ/нм. Наноструктура состоит из колоннообразных зерен с наноразмерами (~ 100 нм). При низких потерях энергии установлено, что структура расширяется с появлением агрегатами дефектов (например, петли призматических дислокаций, коллоидов, пузырьков молекул фтора). Наноиндентирование показало значительное упрочнение обусловленное ионным облучением, которое подтверждается высокой объемной концентрацией преград для дислокаций, такими как например агрегаты дефектов, междислокационные и межзеренные связи. Агрегаты центров окраски наблюдались с помощью абсорбционной спектроскопии.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук. А. Т. Акилбеков, канд. физ.-мат. наук, доцент А. К. Даулетбекова.

АНАЛИЗ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПЕРВОГО РОДА В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ НИКЕЛИДА ТИТАНА, СФОРМИРОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭЛЕКТРОННО- ПУЧКОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

М. Г. Остапенко, Е. Ю. Гудимова
Томский государственный университет
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Эффективным способом направленного изменения физико-химических и механических свойств является модификация поверхностных слоев материала с использованием электронных пучков низкой энергии. Наиболее предпочтительными методами исследования взаимосвязи структурно-фазовых состояний и оценки уровня индуцированных в результате пучковых воздействий внутренних напряжений, являются методы рентгеноструктурного анализа (РСА). Целью работы является исследование влияния импульсных электронно-пучковых воздействий на структурно-фазовые состояния и уровень остаточных упругих напряжений в приповерхностных слоях никелида титана.

В работе исследовались плоские образцы из сплава $Ti_{49,5}Ni_{50,5}$, которые подвергались импульсным электронно-пучковым воздействиям с использованием источника высокопоточных электронных пучков низкой энергии при плотности энергии пучка электронов 15 Дж/см^2 и 30 Дж/см^2 ; $\tau = 150 \text{ мкс}$, $N = 5$. Рентгеновские исследования структурно-фазовых состояний фаз, измерение величин микродеформаций и напряжений 1-го рода методом « $\sin^2\psi$ » проводили на дифрактометре ДРОН-7 в CoK_{α} -излучении по симметричной и ассиметричной схемам съемки. Установлено, что после электронно-лучевой модификации поверхности образцов из $Ti_{49,5}Ni_{50,5}$ на рентгенограммах присутствует высокотемпературная В2 фаза, мартенситная фаза В19' и фаза Ti_2Ni . Выявлено, что при увеличении плотности энергии электронного пучка от $E_1 = 15 \text{ Дж/см}^2$ до $E_4 = 30 \text{ Дж/см}^2$ существенно возрастает объемная доля фазы В19' от 3 об. % до 70 об. %. Обнаружено, что поверхностный модифицированный слой характеризуется большими значениями параметра решетки $a_{B2} = 3,0254 \text{ \AA}$ ($a_{\text{ит}} = 3,0132 \text{ \AA}$). В докладе представлены результаты расчета упругих напряжений 1-го рода и соответствующих им микродеформаций кристаллической решетки ϵ^1 в В2 фазе в зависимости от глубины анализируемого слоя. В образцах после электронно-пучковой обработки, снятых по ассиметричной схеме съемок с углом скользящего падения $\alpha = 3^\circ$ (глубина анализируемого слоя $h = 0,27 \text{ мкм}$) выявлено, что в направлениях, перпендикулярных поверхности образца, имеют место

напряжения растяжения, которые характеризуются микродеформациями $\varepsilon^I > 0$.

Исследования проведены в рамках Г/б проектов № III.20.2.1; №57 (2009–2011) и ГК № 16.740.11.0140.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доцент Л. Л. Мейснер.

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ДЕБАЯ-ШЕРРЕРА ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЯЧЕЙКИ МАССИВНЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

А. В. Панченко

Институт неорганической химии им. Н. В. Николаева СО РАН
Новосибирский государственный университет

Появление двухкоординатных позиционно-чувствительных детекторов привело к возвращению метода Дебая-Шеррера в практику рутинных рентгенодифрактометрических исследований поликристаллов. Данный метод позволяет проводить в экспрессном режиме полный спектр рентгенографических исследований, в том числе точное определение параметров элементарной ячейки (ПЭЯ), «сложных» образцов.

Данная методика использована при уточнения ПЭЯ твердого раствора $\text{Ir}_{0,85}\text{Re}_{0,15}$, полученного в виде таблетки ($\varnothing = 3$ мм, $h = 1,5$ мм) при термобарической обработке (2000 °С, 4 ГПа) смесей нанокристаллических порошков металлов. Измерения проводили на дифрактометре Bruker X8 APEX (MoK_α -излучение, графитовый монохроматор, двухкоординатный CCD-детектор, внешний эталон Si) в области углов 2θ 60 — 120° . Образец крепили в специальном держателе и располагали перпендикулярно первичному пучку, далее с помощью микроскопа проводили центровку образца. В таком положении, для устранения возможных ошибок, были получены два дифракционных снимка, при симметричных положениях детектора $\pm 90^\circ 2\theta$, для каждого время экспозиции составляло 15 мин.

Установлено, что образец $\text{Ir}_{0,85}\text{Re}_{0,15}$ является однофазным ($a_{\text{ГСК}} = 3,840(3)$ Å), что согласуется с фазовой диаграммой [2]. Эти результаты подтверждены рентгенографическими данными, полученными на дифрактометре ARL X'TRA (геометрия Брэгга-Брентано, CuK_α -излучение, полупроводниковый детектор, внешний эталон Si, область углов 2θ 20 — 160° , шаг сканирования $0,05^\circ$, экспозиция 4 с), однако, при этом потребовалось в 5 раз больше времени для накопления дифракционной картины приемлемого качества.

1. А. В. Алексеев, С. А. Громилов, Рентгенодифрактометрическое исследование поликристаллических образцов, представленных в микроколичестве, Журнал структурной химии, Т. 51, №4, 772. 2010.

2. Е. М. Савицкий, М. А. Тылкина, К. Б. Поварова, Сплавы рения, М.: Наука, 137. 1965.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, С. А. Громилов, канд. хим. наук А. В. Алексеев.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НИОБИЕВЫХ ОКСИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Е. С. Папуловский

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск

Ниобий и содержащие его соединения широко используются в промышленности, в том числе и в катализе.

Изотоп ниобия ^{93}Nb (100 % природное содержание) имеет спин 9/2 и большой (для ЯМР) квадрупольный момент ядра (-0.32 барн). Вследствие этого, вплоть до недавнего времени отсутствовала возможность его исследования в твердом теле методом ЯМР ^{93}Nb из-за значительного уширения спектров ЯМР, вызванного как большой константой ядерного квадрупольного взаимодействия C_Q , так и существенной анизотропией тензора ядерного магнитного экранирования Ω . С развитием техники ЯМР появилась возможность исследования ниобиевых соединений в сильных магнитных полях, используя высокоскоростное вращение образца и специальные методики анализа спектров.

В работе проводятся периодические квантово-химические расчёты (метод GIPAW) магнитно-резонансных параметров оксидных ниобиевых соединений с различной координацией ниобия (от 4 до 8), большинство из которых уже были исследованы методом ЯМР ^{93}Nb . Однако некоторые из них были синтезированы совсем недавно и поэтому ещё недостаточно исследованы. Результаты расчета для нескольких соединений с различной координацией (КЧ) ниобия представлены в таблице. Расчёты для восьми координированного ниобия были проведены впервые.

Таблица 1. Теоретические и экспериментальные ^{93}Nb ЯМР параметры.

КЧ		Теоретические значения					Экспериментальные				
		$-\delta_{\text{iso}}$, м.д.	Ω , м.д.	κ	C_Q , МГц	η_Q	$-\delta_{\text{iso}}$, м.д.	Ω , м.д.	κ	C_Q , МГц	η_Q
4	LaNbO_4	887	416	0.31	95.35	0.11	853	424	0.37	86.55	0.19
5	CaNb_2O_6	1060	440	0.60	41.49	0.77	990	525	0.43	50.00	0.80
8	Cs_3NbO_8	1560	899	-1	95.39	0.00	1600				

$$\Omega = (\delta_{11} - \delta_{33}), \delta_{11} \geq \delta_{22} \geq \delta_{33}, \kappa = 3(\delta_{22} - \delta_{\text{iso}}) / (\delta_{11} - \delta_{33}) \quad (1 \geq \kappa \geq -1).$$

Расчёты проводились программным пакетом CASTEP.

Научные руководители – д-р хим. наук О. Б. Лапина, канд. физ.-мат. наук А. А. Шубин.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ НАНОСТРУКТУРНОЙ КЕРАМИКИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Е. Г. Пасько, В. В. Скрипняк, М. В. Коробенков, А. А. Козулин
Томский государственный университет

В работе представлены результаты численного многоуровневого моделирования механического поведения структурированной пористой оксидной керамики при импульсных воздействиях. В результате численного исследования влияния структуры пористости на механическое поведение оксид-алюминиевой керамики при нагружении плоскими ударными волнами получено, что при ударно-волновых воздействиях в пористых материалах деформация локализуется на мезоскопическом уровне в полосах, имеющих три характерные ориентации – вдоль и поперек и под углами, близкими к 45° к направлению распространения фронта волны.

Процесс фрагментации материалов в зоне разрушения определяется сдвигом и разворотом образовавшихся блоков, разделенных трещинами и полосами локализованной деформации. При динамическом нагружении формирование и движение блоков происходит в нестационарном и неоднородном поле сдвиговых напряжений. Поровые структуры оксидной керамики оказывают существенное влияние на размеры фрагментов и прочностные характеристики хрупкой пористой керамики.

Обнаружено, что при ударно-волновых процессах в пористых материалах концентрация пор в области границ зерна вызывает снижение сдвиговой прочности материалов. Наличие пор внутри рекристаллизованного зерна способствует развитию интеркристаллитных трещин. Получено, что при закрытой пористости на размеры фрагментов и прочностные характеристики керамики существенное влияние оказывает конфигурация пор.

Полученные данные могут быть использованы для расчетов прочности изделий из оксидных керамических материалов, для создания численно-аналитической моделей, предназначенных для оценки механических свойств однофазных керамических материалов в широком диапазоне скоростей нагружения, выработки рекомендаций по созданию керамических материалов с повышенными прочностными характеристиками.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 г. ГК П604 от 06.08.2009 г., ГК П1228 от 27.08.2009 г., АВЦП 2.1.2/13526.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. А. Скрипняк.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИСПЕРСНЫХ И КОМПАКТИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ (В ТОМ ЧИСЛЕ И ПОРОШКОВ НАНОАЛМАЗОВ)

Н. Н. Писарева

Красноярский государственный педагогический университет
им. В. П. Астафьева

В последние годы отмечается быстрый рост научного, промышленного и коммерческого интереса к новому классу материалов, разработанных на основе углеродных наноструктур (нанотрубок, фуллеренов, наноалмазов, нанографеновых пленок). Эти объекты обладают необычными, по сравнению с традиционными углеродными материалами свойствами. Наноалмаз детонационного синтеза является хорошим модельным материалом для исследования теплопереноса на границах алмаз-алмаз или алмаз-металл [1].

В работе исследовались образцы наноалмазов детонационного синтеза (УДА) очищенные от неалмазного углерода по способу, описанному [2].

Из дисперсных порошков наноалмаза, измельченных и пропущенных через сита с размером ячеек 100 мкм, изготавливались компактные цилиндрические образцы диаметром 15 мм и высотой 3-5 мм на гидравлическом прессе при давлениях от 100 до 250 кгс/см². Измерения коэффициента теплопроводности образцов производилось методом лазерной вспышки на установке «LFA 457» в диапазоне от 50 до 500 °С, что исключало процессы графитизации наноалмаза.

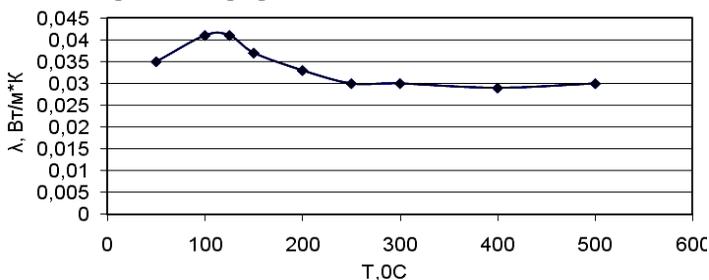


График 1. Зависимость коэффициента теплопроводности УДА от температуры

Теплопроводность компактированных образцов сравнивалась с теплопроводностью дисперсных частиц, измеренных аналогичным способом. На графике 1 показана теплопроводность дисперсных частиц наноалмаза [3].

На графике 2 приведены зависимости коэффициентов теплопроводности от температуры для компактированных образцов различной плотности. Образец 1 – (давление прессовки $P = 30,0$ кН/см²; плотность образца $\rho =$

1,087 г/см³), 2 – (P = 37,3 кН/см²; ρ = 1,007 г/см³), 3 - (P = 21,0 кН/см²; ρ = 0,896 г/см³), 4 - (P = 15,0 кН/см²; ρ = 0,869 г/см³).

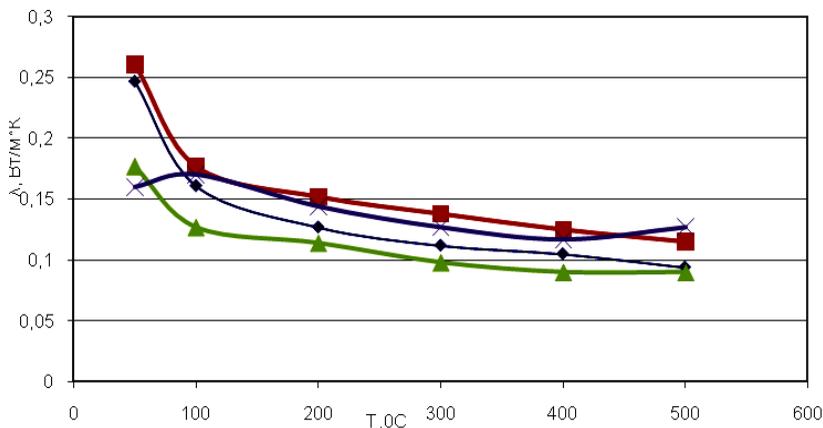


График 2. Зависимость коэффициента теплопроводности УДА от температуры

Из графика 2 видно, что коэффициент теплопроводности для кривых 1-3 резко падает в диапазоне температур от 50 до 100°C. Характер зависимости четвертого образца близок к теплопроводности дисперсного материала, что возможно свидетельствует о недостаточном давлении при компактировании образца.

Развитая поверхность наноалмаза может быть химически модифицирована атомами различных металлов, что позволяет надеяться на изменение коэффициента температурного расширения материала на основе наноалмазов. Это позволяет рассматривать наноалмаз как материал для создания эффективных теплоотводов. Такие необычные свойства порошка могут найти свое применение в областях промышленности и народного хозяйства.

1. С.В. Кидалов, Ф.М. Шахов, А. Я. Вуль. Технология композитов на основе микро- и нанокристаллических алмазов с высокой теплопроводностью. /Физика твердого тела. 2008. Т 50. № 5.

2. А.С. Чиганов. Селективное ингибирование окисления наноалмазов в технологии очистки. /Физика твердого тела. 2004. Т. 46. № 4. С. 605-606.

3. А.И. Лямкин, А.А. Рудько. Теплофизические свойства нанопорошков. /V ставеровские чтения. Труды научно-технической конференции с международным участием, г. Красноярск. С. 118-119. 2009.

Научный руководитель – доцент А.С. Чиганов.

ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМК НИКЕЛЯ

О. Г. Санарова¹, П. В. Кузнецов², И. В. Петракова²

¹ Томский политехнический университет

² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Механические свойства субмикроструктурных (СМК) материалов, полученных методами интенсивной пластической деформации (ИПД), обусловлены их особой зеренно-субзеренной структурой. В процессе низкотемпературного отжига происходят изменения структуры, исследование которых представляет научный и практический интерес.

Работа посвящена развитию метода оценки распределения зеренно-субзеренной структуры (ЗСС) СМК простых металлов по размерам и оценке степени неравновесности их границ с помощью сканирующей туннельной микроскопии (СТМ).

Исследовали образцы СМК никеля, полученного методом равноканального углового прессования в состоянии поставки и после термического отжига при температурах 60 °С и 120 °С, 180 °С и 240 °С. На основе СТМ данных были построены зависимости средних размеров зерна вдоль и поперек направления прессования образцов. Средние продольные размеры ЗСС СМК никеля в исходном состоянии больше средних поперечных размеров, что свидетельствует о неравноосности структуры.

На поверхности образцов СМК никеля наблюдали блочные структуры, образующиеся в процессе ИПД. После отжига образцов СМК никеля при $T \sim 60$ °С наблюдается увеличение микротвердости и предела прочности. После отжига в интервале температур $T \sim (120 - 240)$ °С микротвердость и пластичность образцов изменяется незначительно. После отжига при температуре $T \sim (60 - 180)$ °С наблюдается немонотонное уменьшение размеров и степени неравноосности ЗСС СМК среднего размера зерен никеля. Отжиг при температуре $T \sim 240$ °С приводит к росту размеров зерен, который выявляется с помощью СТМ и происходит за счет миграции большеугловых границ. Результаты СТМ исследования свидетельствуют о повышении степени неравновесности границ зерен в температурном интервале 60–240 °С. Обсуждается корреляция изменений структуры СМК никеля с изменением механических свойств. Сделан вывод об эффективности применения СТМ для исследования структуры СМК материалов.

1. Валиев Р. З., Александров И. В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос, 2000, 272 с.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук П. В. Кузнецов.

АВТОКОЛЕБАНИЯ В РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ ПРОПАНА НА НИКЕЛЕ: *IN SITU* ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ РФЭС И МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

А. А. Сараев

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Одно из наиболее интересных и необычных явлений в катализе – осцилляции скоростей каталитических реакций [1]. На сегодняшний день известно более 30 гетерогенных каталитических реакций, протекающих при определенных условиях в режиме автоколебаний. В частности, ранее было показано, что окисление пропана на никеле в условиях дефицита кислорода в диапазоне температур 650–800 °С протекает в режиме автоколебаний [2]. В данной работе для определения причин возникновения автоколебаний в данной системе было проведено *in situ* исследование с применением методов РФЭС и масс-спектрометрии. Эксперименты проводились при давлении 0.5 мбар. Установлено, что в диапазоне температур 580–630 °С при варьировании соотношения пропан-кислород в диапазоне от 3:1 до 15:1 возникают автоколебания релаксационного типа. При этом система большую часть времени находится в неактивном состоянии и периодически самопроизвольно переходит в активное состояние, характеризующееся высокой степенью конверсии пропана. Распределение продуктов реакции указывает на то, что в режиме автоколебаний протекает как полное, так и парциальное окисление пропана. Одновременно с осцилляциями выхода продуктов реакции наблюдаются осцилляции температуры катализатора с амплитудой ~ 25 °С. Анализ *O1s* и *Ni2p* спектров поверхности катализатора, записанных в режиме *in situ*, свидетельствует, что в момент высокой активности никель находится в металлическом состоянии, переход в неактивное состояние сопровождается образованием слоя NiO толщиной не менее 3 нм. На основании полученных данных предложен механизм возникновения автоколебаний в данной реакции, основанный на периодическом окислении-восстановлении никеля.

1. Imbihl R., Ertl G., Chem. Rev. 1995. V. 95. P. 697.

2. Gladky A. Yu., Ermolaev V. K., Parmon V. N., Catal. Lett.. V. 77. P. 103. 2001.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. В. Каичев.

СТРУКТУРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Т. М. Соловьёв, Н. В. Шадрин

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск
Институт проблем нефти и газа СО РАН

Разработка морозостойких уплотнений является актуальной технической задачей, так как в зимнее время основной причиной простоя машин и техники является разрушений резиновых деталей уплотнительного назначения [1]. Одним из способов решения этой проблемы является структурная модификация с использованием активных наполнителей. В основном, улучшение достигается, если обеспечена прочная связь наполнителя с каучуком. Наиболее вероятным механизмом подобного улучшения является высокая адсорбционная способность нанонаполнителей, которые в случае их принудительного размещения на границе раздела полимерных фаз играют роль центров, на которых адсорбируются макромолекулы совмещаемых полимеров [2–3].

В данной работе использованы бутадиеннитрильные каучуки марки БНКС–18, которые обладают высокой (до $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$) морозостойкостью, в качестве наполнителя использован СВМПЭ. Для дальнейшего структурирования и улучшения взаимодействия термодинамически несовместимых полимеров на границе раздела фаз в систему введен структурно-активный наполнитель – анортит, который играет роль структурирующего агента. Благодаря каркасной структуре анортит обладает высокой адсорбционной способностью на наноуровне.

Исследование физико-механических свойств и агрессивностойкости модифицированных композитов показали повышенные значения условного напряжения при разрыве, удовлетворительные значения прочности и относительного удлинения, а также повышенную маслостойкость.

1. Лукомская А. И., Евстратов В. Ф. Основы прогнозирования механического поведения каучуков и резин. М.: Химия. 1975. 360 с.

2. Соколова М. Д., Ларионова М. Л. Применение нанонаполнителей для улучшения взаимодействия на границе раздела фаз несовместимых полимеров // Химия в интересах устойчивого развития. 2006. № 14. С. 285–290.

3. Киселев В. Я., Внукова В. Г. Влияние природы наполнителей на адгезионную прочность соединений из несовместимых эластомеров // Каучук и резина. 1994. № 4. С. 8–12.

Научный руководитель – канд. техн. наук, М. Д. Соколова.

ВЫПЛАВКА СЕРОГО ЧУГУНА СЧ20 С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИКАТОРОВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Н. В. Степанова, А. Ю. Чумаченко, Т. С. Самейшева,
А. А. Лосинская, А. С. Гонтаренко

Новосибирский государственный технический университет

Качество выплавляемого металла зависит от большого количества факторов [1]. Одним из эффективных способов повышения качества литого металла является модифицирование. По причине многофакторности литейных процессов, в настоящее время не существует единой теории модифицирования, и множество научных и прикладных вопросов в этой области остаются неразрешенными.

В работе представлен анализ данных, полученных в результате экспериментов по модифицированию чугуна марки СЧ20 добавками различного типа. В качестве модификаторов применялись: промышленный ферросилиций (ГОСТ 1415–93), кусковые лигатуры на основе систем Fe-Cu-TiCN и Cu-Mg-Zn-B, наноразмерные порошки TiN и TiCN. Данные модификаторы действуют как искусственные центры кристаллизации, либо ограничивают рост уже существующих кристаллитов, вызывая тем самым измельчение формирующейся структуры и повышение механических свойств материала [1].

Для оценки влияния модифицирования на свойства материала, проводился анализ микроструктуры, оценивались прочностные свойства материала. По результатам исследований установлено, что указанные модификаторы не оказывают значительного влияния на структуру и свойства СЧ20. Представленные результаты, а также более ранние эксперименты в этой области [2] указывают на неэффективность применения для СЧ20 добавок, действующих по принципу поверхностно-активных веществ или искусственных центров кристаллизации.

Целесообразно предположить, что для серого чугуна, содержащего большое количество природных примесей, более целесообразным методом является модифицирование, основанное на эффектах раскисления и рафинирования расплава, то есть на удалении из металла примесей.

1. Гольдштейн Я. Е., Мизин В. Е. Инокулирование железо-углеродистых сплавов. – М.: Металлургия, 1993. – 416 с.

2. Головин Е. Д., Кузнецов В. А., Шелудько Н. В. Модифицирование серого чугуна СЧ15. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. № 10. М.: МИСИС, 2010. С. 57.

Научный руководитель – Е. Д. Головин.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПРОДУКТОВ ЛАЗЕРНОЙ СУБМИЛЛИМЕТРОВОЙ АБЛЯЦИИ НАНОСИСТЕМ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

А. С. Уницын

Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск

После обнаружения явления мягкой неразрушающей абляции [1], появилась возможность разработки принципиального нового метода измерения размеров наночастиц и наносистем различной природы.

Явление мягкой неразрушающей абляции состоит в переносе макромолекул с твердой подложки или из раствора в аэрозольную фазу под действием лазерного излучения терагерцового диапазона с сохранением их исходных свойств. Особенностью данного излучения является малая энергия кванта, $\sim 0,01$ эВ, что сравнимо с энергией водородных и Ван-дер-Ваальсовых связей, однако много меньше энергии ковалентных связей. Таким образом, терагерцовое излучение не способно одним квантом разрушить сильные внутримолекулярные взаимодействия и диссоциировать молекулы, что позволяет переносить их в аэрозольную фазу без нарушения первичной структуры.

В предыдущих работах были рассмотрены возможности применения метода мягкой абляции для исследования образцов различной природы. [1, 2] Так же были высказаны некоторые гипотезы, относительно возможных физических механизмов абляции.

В данной работе представлены результаты экспериментов по исследованию дисперсного состава наноразмерных образцов различной природы, выявлению возможных физических механизмов мягкой абляции. В относительных единицах был измерен мощный порог начала абляции, исследовано испарение воды под действием субмиллиметрового излучения с помощью тепловизора, выдвинуты гипотезы физических механизмов абляции. С учетом результатов, были предложены новые методики по проведению абляции и подготовке образцов. Измерения размеров наночастиц проводились с помощью диффузионного спектрометра аэрозолей, в качестве источника терагерцового излучения использовался лазер на свободных электронах Сибирского центра фотохимических исследований.

1. A. K. Petrov et. al. Nondestructive transfer of complex molecular systems of various origin into aerosol phase by means of submillimeter irradiation of free electron laser (FEL) of Siberian center for photochemical research // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2007. A575. P. 68–71.

2. А. С. Уницын, М. С. Вагин, А. К. Петров, А. С. Козлов. Исследование продуктов лазерной субмиллиметровой абляции неорганических наносистем. // Вестник НГУ, №5. 2009.

Научный руководитель – д-р хим. наук, проф., А. К. Петров.

ДИНАМИКА ОБЪЕМНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ОТЛИВКЕ ПРИ ЕЕ ОТВЕРДЕВАНИИ

Н. С. Филатова

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

В настоящее время на первое место для создания средств бронезащиты по 5–6а классу выдвигаются керамические материалы, такие как карбид бора B_4C , TiB_2 , Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4 . По разным оценкам рост применения броневой керамической защиты армиями разных стран составляет около 5–7 % в год [1]. Доступность сырья, технологичность процесса получения, возможность организации серийного производства изделий, а также меньшая по сравнению с другими материалами стоимость базовым бронезащитным материалом, подходящим для массового применения, делают керамику на основе Al_2O_3 . Баллистические свойства керамической бронезащиты зависят от профиля бронезащитных элементов. Специфической особенностью горячего литья, при помощи которого получают изделия сложной формы, является использование временной термопластичной технологической связки, относительно большое содержание и объемные изменения которой при отверждении отливки являются причиной возникновения дефектов [2]. Уровень ответственности использования керамических бронезащитных элементов определяет высокие требования к их качеству. Поэтому задача исключения бракованной продукции при получении ударопрочной керамики из Al_2O_3 методом горячего литья является чрезвычайно актуальной.

Целью работы явилось изучение влияния состава связки на величину объемных изменений в температурном диапазоне горячего литья.

Экспериментально были определены температурные зависимости плотности связок в интервале 20–95 °С и получены уравнения регрессии, устанавливающие связь между составом, температурой и плотностью связки. Анализ экспериментальных и расчетных значений показал, что приращение плотности в среднем составляет 1,05–1,06, при этом в жидком состоянии – около 1,01, в твердопластичном – 1,05. Таким образом, на интервал ниже 55 °С (зона пластического состояния) приходится 70–80 % величины приращения плотности шликера. Данный факт, безусловно, необходимо учитывать при выборе режимов литья и проектировании литьевых форм для исключения возникновения брака по раковинам и пустотам.

1. Строение и свойства неорганических материалов. – <http://matved2010.narod.ru/Glava63.htm>.

2. С. А. Шахов, Формование керамических изделий методом горячего литья с подпрессовкой. – Новосибирск, 2008, 125 С.

Научный руководитель – д-р техн. наук С. А. Шахов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОГЕННОГО МАТЕРИАЛА

А. А. Филиппов, Т. А. Борисова, В. М. Фомин
Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

Настоящей целью работы является по известным механическим характеристикам компонент определить механические характеристики смеси. Работа состояла из теоретической и экспериментальной части.

В экспериментальной части работы были подготовлены образцы из эпоксидной смолы с добавлением нанопорошка, которые заливались в специальные формы, изготовленные из пентеласта. Образцы изготавливались как из эпоксидной смолы с отвердителем, так и с добавлением различной концентрации нанопорошка SiO_2 . Затем проводились эксперименты на растяжение на испытательной машине Zwick Roell Allround. В результате были получены диаграммы нагрузки от удлинения, а также напряжения образца от деформации в зависимости от массовых концентраций компонент.

В теоретической части работы была предложена математическая модель гетерогенного материала. Используя теорию многофазных сред, предложенную Х. А. Рахматулиным и гипотезу о том, что перемещения сред совпадают, была предложена зависимость модуля упругости от объемных концентраций компонентов смеси. Представлена связь массовой и объемной концентраций. Кратко описаны другие математические модели гетерогенных смесей.

Проведено сравнение между теоретическими и экспериментальными результатами. В исследуемом интервале было получено качественное совпадение. Выдвинуты гипотезы о расхождении результатов.

Проведенные исследования показали, что небольшие добавки наноразмерного порошка диоксида кремния таркосил (до 12 %) повышают предел прочности на растяжение и модуль упругости Юнга композиционного материала. Причем максимальная прочность достигается при объемной концентрации порошка примерно 12 %. Предложена математическая модель гетерогенного материала, используя теорию многофазных сред и гипотезу о том, что перемещения сред совпадают. Показано, что при $c_1 \leq 0,12$ предложенная зависимость (2) качественно совпадает с данными экспериментов.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, акад. РАН В. М. Фомин.

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПО ПОРОШКОВЫМ ДИФРАКТОГРАММАМ

Д. Ю. Чирков, Т. А. Смирнова
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Информация об атомной кристаллической структуре вещества необходима для объяснения и прогнозирования физических и химических свойств веществ и материалов. Структура веществ, представленных в поликристаллической форме, изучается методами порошковой дифракции. Если известна приближенная структурная модель кристаллической фазы соединения, то структурные параметры (координаты атомов и т.п.) могут определяться с помощью известного метода полнопрофильного анализа Ритвельда. Однако поиск структурных моделей для веществ, полученных в поликристаллической форме, во многих случаях представляет проблему.

В последнее время в нелинейных задачах стали успешно применяться методы эволюционной глобальной оптимизации, имитирующие в поиске решения процессы естественного отбора в живой природе. В данной работе апробируется эволюционный гибридный двухуровневый генетический алгоритм (ГА) для автоматизированного определения кристаллических структур химических соединений из данных порошковой дифракции в прямом пространстве [1]. Первый уровень ГА выполняет случайную генерацию и эволюцию структурных моделей. Второй уровень ГА реализует эволюцию процесса локальной оптимизации лучших структурных моделей по методу минимизации производной разности (МНР) полнопрофильного анализа [2]. В процессе поиска структурного решения производится циклическое выполнение обоих уровней ГА с передачей друг другу лучших, в смысле целевой функции, структурных моделей. В качестве целевой функции используется взвешенный профильный R -фактор метода МНР. Возможно задание априори известных структурных фрагментов и ограничений. ГА исследуется на примерах решения структурных задач для соединений с заранее известной структурой с 20–30 и более степенями свободы структурных параметров.

1. Y. I. Yakimov, E. S. Semengin, I. S. Yakimov. Two-level genetic algorithm. / *Z. Kristallogr. Suppl.* 30. 2009. 21–26.

2. L. A. Solovyov. The DDM Method. / *Powder Diffraction Theory and Practice*, ed. R. E. Dinnebier and S. J. L. Billinge, Royal Society of Chemistry. 2008. 282–297.

Научный руководитель – канд. техн. наук, проф. И. С. Якимов.

ДЕЗИНТЕГРАЦИЯ АГЛОМЕРАТОВ ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

А. С. Шалимова, В. И. Закомирный, З. Д. Гасанов, К. О. Новикова
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Развитие нанотехнологий сдерживается дороговизной методов получения наноматериалов и их малой производительностью. Применение наноалмазов, полученных высокопроизводительным детонационным методом [1], в жидких средах (смазки, электролиты для гальванических износостойких и защитных покрытий, полировальные составы и др.) часто ограничено присутствием агломератов, образовавшихся в технологическом процессе выделения алмазов из продуктов синтеза и сушки. Так, в водной суспензии присутствуют агрегации размером от сотен до нескольких тысяч нанометров. Поиск методов дезинтеграции подобных агломератов является актуальной проблемой, равно как и задача повышения устойчивости жидких сред с наноалмазами к разделению.

В работе рассмотрены три эффективных метода воздействия на водную суспензию наноалмазов: ультразвук (прибор УЗДН-1 с рабочей частотой 22 кГц и 44 кГц), кавитация (вращающийся клин с частотой 10–20 тысяч об/мин) и лазерное излучение (фемтосекундный лазер Tsunami, длина волны 800 нм, мощность 840–860 МВт). Времена воздействия варьировались от нескольких секунд до нескольких минут. Контроль распределения по размерам осуществлялся анализатором «CPS Disc Centrifuge Model DC 24000».

После проведения экспериментов, в которых менялись интенсивность и время воздействия каждым методом, был сделан сравнительный анализ. Он показал, что наиболее эффективным и производительным методом дезинтегрирования является кавитация. После такой обработки средний размер агрегатов достигает 40–50 нм при исходном среднем размере около 500 нм. Размер первичного кристалла алмаза составляет 4–5 нм. Обработка ультразвуком уменьшает размер части агломератов до 60 нм, а лазерная обработка – до 70–80 нм.

Кавитационный способ имеет существенные преимущества (возможность обработки больших объемов за сравнительно небольшие времена), которые позволяют рассматривать его как перспективный для промышленного применения.

1. Лямкин А. И., Петров Е. А., Ершов А. П. и др. Получение алмазов из взрывчатых веществ // Докл. АН СССР. Т.302. № 3. С.611–613. 1988.

Научный руководитель – д.-р физ.-мат. наук, профессор А. И. Лямкин.

САМООРГАНИЗАЦИЯ ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А. С. Шалимова, З. Д. Гасанов, К. О.Новикова
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Использование преимуществ достижений нанотехнологии в реальном производстве невозможно без разработки процессов получения наноматериалов в достаточных количествах. Успешным примером такой технологии является синтез детонационных наноалмазов (ДНА) со средним размером частиц 4 нм. Алмазы обладают уникальным сочетанием высокой химической, термической и радиационной стойкости, наивысшей среди известных веществ твердости и износостойкости, низкого коэффициента термического расширения, малой теплоемкости, наивысшей теплопроводности, большой ширины запрещенной зоны, прозрачности в широком диапазоне спектра. Очень перспективно применение этого материала в нано- и микроэлектронике, микротехнике. Очень важен поиск процессов, в которых ДНА объединяются в регулярные структуры.

После проведения цикла работ по дезинтеграции наноалмазных агломератов в водной суспензии с помощью лазерного излучения (фемтосекундный лазер Tsunami, с длиной волны 800 нм и мощностью 840–860 МВт) было установлено, что лазерное излучение способствует не только разрушению агрегатов, но и стимулирует формирование регулярных структур. Высокоэнергетическая дезинтеграция с помощью ультразвука и кавитации также ведет к формированию при осаждении структур типа пленка, что наблюдалось на снимках атомно-силового микроскопа (АСМ).

Лазерная обработка, в отличие от других рассмотренных, ведет к росту из первичных ДНА трехмерных структур, напоминающих по форме «корзинки». Из анализа АСМ изображений следует, что при осаждении на подложку из концентрированных суспензий формируются агрегаты (кластеры) из большого числа частиц наноалмаза, размеры которых находятся в диапазоне от приблизительно 20 до 270 нм.

В работе показана возможность получения пленок при высушивании водно-алмазной суспензии. Предложен метод создания функциональных покрытий (например, защитных) только на основе монокристаллов детонационного алмаза.

Необходимы дополнительные исследования для уточнения механизма наблюдавшихся явлений и влияния внешних факторов на процесс стимуляции и управления процессами самоорганизации ДНА и свойств полученных структур.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. И. Лямкин.

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧИХ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ С ПОМОЩЬЮ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

К. О. Шарифулин

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского

Создание тонких пленок на поверхности материала позволяет значительно изменить его свойства, не затрагивая объема, или объединить свойства двух и более материалов. Использование защитных покрытий позволяет существенно повысить надежность современной техники, снизить стоимость ее обслуживания, обеспечить конкурентоспособность и продлить ресурс эксплуатации. Это связано с тем, что защитные покрытия позволяют значительно снизить или исключить влияние на изнашивание деталей таких факторов, как эрозия, коррозия, кавитация и других за счет улучшения физических характеристик поверхности. В связи с этим является актуальной возможность практического применения нанопокровтий для улучшения эксплуатационных характеристик рабочих деталей сельхозтехники, в частности стрелчатых лап. Необходимость такого улучшения обусловлена тем, что в процессе эксплуатации почвообрабатывающей техники наиболее нагруженные участки рабочих органов подвергаются интенсивному износу. Последствиями износа являются снижение качества обработки почвы и, как следствие, урожайности, увеличение тягового сопротивления и, соответственно, расхода топлива, увеличение времени простоев, связанное с заменой изношенных рабочих органов. Эти факторы увеличивают себестоимость конечного сельхозпродукта и снижают производительность труда.

В настоящей работе предлагается наносить на поверхность лап специальные комбинированные объемноразвитые покрытия, которые позволят повысить срок службы и улучшить трибологические характеристики изделий. Последовательность создания такого покрытия следующая: сначала методом плазменно-дугового напыления наносится объемноразвитое микроразмерное керамическое покрытие, затем – ионно-плазменное напыление покрытия из нитрида титана. Несколько лап с покрытиями, нанесенными таким образом, прошли полевые испытания, в результате которых установлено, что их ресурс увеличивается в 3-4 раза по сравнению со стандартными. Увеличение ресурса лап с покрытием обусловлено улучшением износостойкости модернизированных лап по сравнению со стандартными. В настоящей работе проводятся испытания на износ и трение, а также исследования элементного состава и структурно-фазового состояния поверхностного слоя образцов.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Г. И. Геринг.

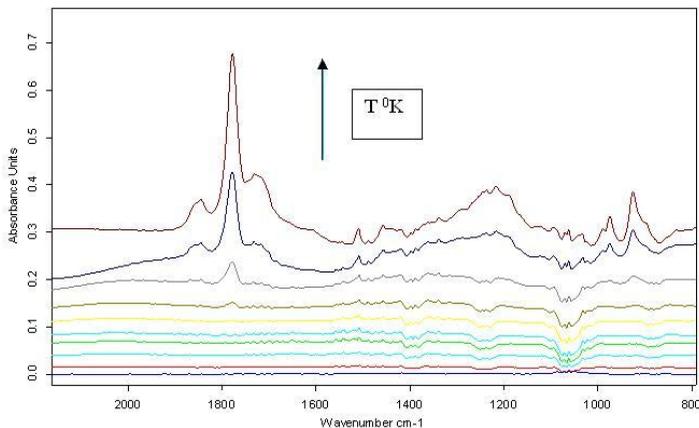
ТЕРМОСПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПРОДУКТОВ ИСПАРЕНИЯ ЭПОКСИДНОГО ПОЛИМЕРА

А. Б. Шестаков, Н. С. Наумкин, Н. П. Шестаков, А. А. Иваненко
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН

Для оптимизации соотношения компонентов эпоксидной смеси используют метод термогравиметрии. Измеряется убыль массы нескольких проб, минимум соответствует оптимальному соотношению компонентов. Недостатком данного метода является то, что неопределенным остается состав испаренных из пробы продуктов.

Идея термоспектрального метода заключается в том, что микрообразец полимера нагревается, газообразные продукты конденсируются на прозрачное окно термостата и анализируются ИК спектрометром совмещенным с микроскопом.

Методика позволяет анализировать образцы эпоксидного полимера массой 0,01 г, выполнять количественные измерения не отвержденных компонентов и макромолекул эпоксидного полимера. На рисунке представлены спектры продуктов испарения эпоксидного полимера полученного при повышенном давлении. По мере повышения температуры образца от 293 до 593 °К происходит конденсация продуктов испарения на ZnSe окно термокуветы. Интенсивность линий свободных молекул содержащихся в полимере возрастает. В спектральной области около 1800 см^{-1} наблюдаются интенсивные линии жидкого и кристаллического отвердителя, что свидетельствует об их избытке в матрице эпоксидного полимера. В спектре наблюдается слабая линия 1510 см^{-1} , связанная с присутствием небольшого количества свободных молекул олигомера.



В докладе представлено описание автоматизированной экспериментальной установки и методика измерения. Выполнены исследования структуры эпоксидного полимера ЭД-22, изометилтетрогидрофталевого ангидрида и ускорителя УП-606/2 полученного при высоком давлении. Измерена концентрационная зависимость потери массы отдельно по отвердителю и олигомеру.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Н. П. Шестаков.

ИССЛЕДОВАНИЕ РУД ЖЕЛЕЗА ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

В. В. Щенников, В. И. Воронин, И. Ф. Бергер, Ю. В. Лопатин,
И. В. Коробейников, М. А. Швецова
Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург
Институт химии твердого тела УрО РАН

Использование метода электроплавки для получения металлического железа из восстановленной руды показывает высокое сопротивление смесей даже при большом содержании железа более 60 %. В настоящей работе выполнены электрофизические измерения под высоким давлением образцов из восстановленной железной руды с различным содержанием железа в диапазоне давлений 0–9 ГПа в автоматизированной установке высокого давления [1]. Химический состав проб оценен с помощью химического анализа, а также нейтроноструктурным и рентгеноструктурными методами. Измерены барические зависимости электросопротивления и термоЭДС при нескольких циклах повышения давления до 9 ГПа, полученные результаты рассмотрены в рамках модели многофазных систем с произвольной концентрацией и конфигурацией фазовых включений [2]. Показано, что электрофизические свойства образцов могут быть описаны хорошо и в этой модели, и конфигурация фазовых включений может быть оценена. Применение нейтронного и рентгеновского излучений, имеющих различную глубину проникновения в вещества, позволяет определить конфигурацию фазовых включений. Высокое сопротивление исходных образцов, как и различие нейтронных и рентгеновских данных, может быть обусловлено изоляцией частиц железа, которые окружены непроводящими сопутствующими фазами [3]. Поскольку модель [2] позволяет определить различные электрические, тепловые, упругие и другие свойства, конфигурация фазовых включений может быть установлена из любых эффектов. Таким образом, предлагаемый метод исследований пригоден для анализа концентрации и конфигурации фазовых включений в любых многофазных системах, например, у материалов вблизи точки фазового перехода.

Работа поддержана фондом РФФИ и Программой Президиума РАН.

1. V. V. Shchennikov, S. V. Ovsyannikov, A. V. Bazhenov, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2008, 69, 2315–2324.

2. V. V. Shchennikov, S. V. Ovsyannikov, I. A. Komarovskii, G. V. Vorontsov, V. V. Shchennikov Jr, *Physica status solidi (b)*, 2004, 241, 14, 3203–3209.

3. V. V. Shchennikov, S. V. Ovsyannikov, M. A. Shvetsova, L. S. Dubrovinskii, A. Polian, *Physical Review*, 2010, 81, 060101.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. В. Щенников.

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ CdS, НАНЕСЁННЫХ НА НАНОТРУБКИ

Ю. А. Альгаер

Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН
Новосибирский государственный университет

Сульфид кадмия (CdS) широко исследуются в последние годы в качестве оптически активного материала с характерными полосами люминесценции и поглощения. Полупроводниковые свойства наночастиц CdS, позволяют рассматривать их как потенциально эффективный преобразователь света в электрический ток и в качестве люминесцентных меток и в электролюминесцентных экранах. Важным направлением исследований в последние годы является изучение зависимости оптических свойств этих полупроводниковых наночастиц от их размера. Один и тот же материал может существенно менять спектр люминесценции и поглощения, в зависимости от размера наночастиц. Также известно, что углеродные нанотрубки (УНТ), благодаря выдающимся электропроводящим свойствам и высокому аспектному отношению могут обеспечить усиление электрического поля вблизи их концов. Целью данной работы явилось разработка метода формирования наночастиц CdS на поверхности УНТ и их кончиках и исследование их люминесценции при использовании массива гибридных CdS/УНТ в качестве полевого катода. В ходе работы проведено осаждение частиц CdS на поверхность кремния, а также на поверхность ориентированных углеродных нанотрубок. Полученный гибридный материал применен в качестве плоского автоэмиссионного катода и измерены его автоэмиссионные характеристики и однородность распределения автоэмиссионных центров. Обнаружено, что некоторые наночастицы CdS, по-видимому, находящиеся в условиях с высокой напряженностью электрического поля, участвуют в процессе полевой эмиссии, что сопровождается интенсивной люминесценцией. Так как в этом процессе участвуют индивидуальные частицы CdS с характерным размером ~ 20 нм, то отдельные источники характеризуются чрезвычайно высокой яркостью.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. В. Окотруб.

ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ CoAlO/CoAl КЕРМЕТОВ МЕТОДОМ ^{59}Co ЯМР ВО ВНУТРЕННЕМ ПОЛЕ ОБРАЗЦА

А. С. Андреев

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Керамометаллы (керметы) – высокопористый композитный материал, содержащий один или несколько металлов в комбинации с одной или несколькими керамическими фазами (оксидами, карбидами, нитридами). Свойства данных материалов являются промежуточными между свойствами металлов, обладающих высокой механической прочностью, пластичностью, теплопроводностью, электропроводностью, и свойствами керамики, имеющей высокую твердость, термическую и химическую стойкость [1]. Для катализа перспективными носителями и катализаторами полного окисления представляются $\text{CoAlO} / \text{CoAl}$ керметы.

Целью работы было исследование строения металлической части $\text{CoAlO} / \text{CoAl}$ кермета методом ^{59}Co ЯМР во внутреннем поле Co^0 . Работа представляет собой исследование строения металлического Co практически на всех стадиях приготовления кермета (мех. активация порошков Co и Al ; гидротермальная обработка смеси; сушка и отжиг в кислородной среде при 900°C):

Было найдено, что исходный металл состоит преимущественно из дефектов упаковки [2], но все же имеет правильные г. ц. к. и г. п. у. упаковки. Соотношение фаз г. ц. к. / г. п. у. $\approx 1 : 2$ (включая дефекты), что согласуется с рентгеноструктурными данными.

Мех. активация в данном случае приводит к росту количества дефектов упаковки. Также было найдено, что на этой стадии происходит формирование CoAl сплава. Начало формирования частиц CoAl сплава подтверждено данными SEM анализа.

Конечным продуктом синтеза является $\text{CoAlO} / \text{CoAl}$ кермет, металлическая часть которого состоит из чистого г. ц. к. Co и $\text{Co}_{8-n}\text{Al}_n$ сплава с различной стехиометрией. Состав металлической части подтверждается данными EDX анализа.

1. Тихов С. Ф., et al., Пористые композиты на основе оксид-алюминиевых керметов (синтез и свойства), Гаврилов В. Ю., Editor. 2004, Издательство СО РАН, филиал "Гео": Новосибирск.

2. Sort, J., et al., Role of stacking faults in the structural and magnetic properties of ball-milled cobalt Phys. Rev. B, 2003. 68: p. 014421-1-014421-7.

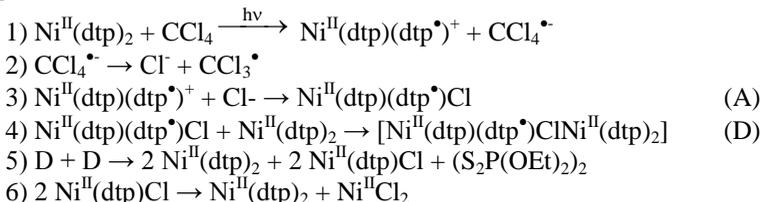
Научный руководитель – д-р хим. наук О. Б. Лапина.

ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ В ФОТОХИМИИ $\text{Ni}(\text{S}_2\text{P}(\text{OEt})_2)_2$ В ГАЛОГЕНСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ

Д. С. Будкина, В. Ф. Плюснин, А. В. Коломеец, В. П. Гривин
Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Дитиофосфатные комплексы переходных металлов имеют разнообразное применение в химии, биологии и промышленности [1-3], однако их фотохимические свойства практически не изучены.

В данной работе методами фемто- (лазер Ti:Sapphire , 405 нм) и наносекундного (лазер $\text{Nd}^{3+}:\text{Yag}$, 266 нм) лазерного импульсного фотолиза, оптической спектроскопии и кинетического анализа изучены быстрые процессы и природа промежуточных частиц в фотохимии комплекса $\text{Ni}(\text{S}_2\text{P}(\text{OEt})_2)_2$ в растворах четыреххлористого углерода. На основе полученных данных предложен механизм фотохимических превращений ($\text{dtp} \equiv \text{S}_2\text{P}(\text{OEt})_2$):



Таким образом, фотохимия связана с переносом электрона с возбужденного комплекса на ближайшую молекулу растворителя с образованием первичного интермедиата $\text{Ni}^{\text{II}}(\text{dtp})(\text{dtp}^\bullet)\text{Cl}$ (A). Данный процесс конкурирует с быстрой (2-3 пс) релаксацией возбужденного состояния. Интермедиат A примерно за 15 мкс исчезает в реакции с исходным комплексом с формированием димера D, который за ~1 мс рекомбинирует с образованием конечных продуктов: комплекса NiCl_2 и молекулы дисульфида $(\text{S}_2\text{P}(\text{OEt})_2)_2$.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 11-03-00268-а).

-
1. Stary J. The solvent extraction of metal chelates. // N.Y., The Macmillan Co, 1964
 2. De A. K., Khopkar S. M., Chalmers R. A. Solvent Extraction of metal. // N.Y. Van Nostrand-Reinold Co., 1970
 3. Zolotov Yu. A. Extraction of chelate compounds. // Michigan, Ann Arbor-Humphrey Science Publishers, Ann Arbor, 1970.

Научные руководители – д-р хим. наук, проф. В. Ф. Плюснин, А. В. Коломеец.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА РАЗЛОЖЕНИЯ И СТРУКТУРЫ ПЛАМЕНИ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА С ДОБАВЛЕНИЕМ ТРИФЕНИЛФОСФАТАТА

М. Б. Гончикжапов

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Полиэтилен один из самых распространенных материалов в современном мире. Одним из его видов является сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ, $MW \sim 6 \times 10^6$). СВМПЭ отличается от других полимеров повышенной морозостойкостью, ударопрочностью, низким коэффициентом трения и стойкостью к агрессивным средам. Однако горючесть и термическая стойкость СВМПЭ является в настоящий момент не исследованным вопросом. В качестве ингибитора был выбран трифенилфосфат (ТФФ).

Методом динамического масс-спектрометрического термического анализа исследовано влияние ТФФ на процесс газификации СВМПЭ при термическом разложении. Определены температуры появления продуктов разложения в газовой фазе при разложении чистого СВМПЭ и с добавками ТФФ. Исследована кинетика процесса разложения СВМПЭ и смеси ТФФ / СВМПЭ (10 / 90 масс. %). Было показано, что процесс разложения СВМПЭ описывается в приближении реакции распада второго порядка. Определены энергии активации реакции разложения и предэкспоненциальные множители в аррениусовском виде для константы скорости. Исследована структура диффузионного пламени прессованных образцов ТФФ / СВМПЭ. Получен температурный профиль в пламени.

Установлено, что добавление ТФФ приводит к эффекту повышения температуры вылета в газовую фазу продуктов разложения СВМПЭ, повышению энергии активации реакции разложения СВМПЭ. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что трифенилфосфат является фосфорсодержащим антипиреном для сверхвысокомолекулярного полиэтилена.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук А. А. Палецкий, д-р. физ.-мат. наук О. П. Коробейничев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПИРОЛИЗА ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЗОНДОВОЙ МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

М. Б. Гончикжапов

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

В настоящее время очень важной задачей является решение проблемы лесных пожаров, которые наносят огромный вред обществу. Пиролиз лесных горючих материалов (ЛГМ) является важной составляющей при распространении фронта пламени в режиме тлеющего горения. Методы исследования этого процесса сложны и разнообразны, однако в большинстве случаев анализ пробы происходит значительно позже времени её отбора. Проба при этом претерпевает химические и фазовые превращения, что усложняет понимание картины горения.

Целью данной работы является исследование продуктов термического разложения ЛГМ в режиме *in situ* при неизотермическом нагреве в проточном реакторе методом зондовой молекулярно-пучковой масс-спектрометрии. В работе использовался нагреваемый зонд, обеспечивающий ввод летучих продуктов в анализатор.

Образец ЛГМ в виде порошка помещался в металлическую кювету, нагреваемую электрическим током. Темп нагрева и температура контролировались термопарой, приваренной к кювете. Полученные профили интенсивностей массовых пиков продуктов разложения в зависимости от температуры нагревателя позволяют получить информацию о кинетике образования веществ и механизме разложения ЛГМ. Посчитаны константы скорости реакции термического разложения ЛГМ. Определены температуры вылета в газовую фазу продуктов и основные стадии термического разложения ЛГМ.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук А. А. Палецкий, д-р. физ.-мат. наук О. П. Коробейничев.

ОБРАЗОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ СУРЬМЫ ИЗ ПЕРЕСЫЩЕННОГО ПАРА

А. В. Горюнова, О. В. Боровкова
Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Образование наночастиц из пересыщенного пара металлов представляет интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения.

Данная работа посвящена экспериментальному изучению нуклеации паров сурьмы в ламинарной проточной диффузионной камере. Проточная камера состоит из кварцевой трубки с внешним нагревателем. Небольшое количество сурьмы помещалось в зону нагрева для получения насыщенных паров. На выходе из этой зоны с падением температуры пары становятся пересыщенными, и происходит нуклеация. Размер частиц и их концентрация на выходе из камеры измерялись с помощью диффузионного спектрометра аэрозолей. Морфология частиц на выходе была подробно изучена с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEOL–JEM 100SX. Частицы на выходе представляют собой агрегаты из мелких, первичных частиц. Изучены зависимости размера агрегатов, фрактальной размерности, количества первичных частиц в агрегате и размера первичных частиц от условий эксперимента.

Для определения положения зоны нуклеации использовался метод «отсечки» пересыщения.

Для нахождения значения пересыщения было рассчитано распределение пара внутри генератора из уравнений массопереноса. Температурный профиль был найден экспериментально с помощью хромель-алюмелевой термопары. Используя распределения температур и концентраций, был рассчитан объём нуклеации по классической теории нуклеации. Количество образовавшихся в зоне нуклеации частиц N может быть определено по концентрации аэрозоля на выходе и среднему числу первичных частиц в агрегате. Используя экспериментально измеренное значение N и значение нуклеационного объема, была определена скорость нуклеации в зависимости от температуры и пересыщения. Была разработана модель образования наночастиц сурьмы из пересыщенного пара, включающая в себя нуклеацию, коагуляцию частиц, рост частиц за счет конденсации пара, осаждение пара на стенки камеры, осаждение частиц на стенки камеры за счет диффузии и термофореза.

Научный руководитель – д-р хим. наук А. А. Онищук.

U-ЦЕНТРЫ ОЛОВА В СТЕКЛООБРАЗНЫХ ХАЛЬКОГЕНИДАХ МЫШЬЯКА

А. Ю. Дашина, П. В. Гладких
Российский государственный педагогический университет
им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург

В настоящей работе для идентификации двухэлектронных центров олова с отрицательной корреляционной энергией (U^- - центров) в стеклообразных халькогенидах мышьяка используется эмиссионный вариант мессбауэровской спектроскопии на изотопах ^{119}Sb ($^{119\text{m}}\text{Sn}$) и $^{119\text{m}}\text{Te}$ ($^{119\text{m}}\text{Sn}$), когда в исследуемый образец вводится радиоактивный материнский изотоп, после распада которого образуется дочерний мессбауэровский атом. Объектами исследований служили и стеклообразные сплавы систем $\text{As}_x\text{S}_{1-x}$, $\text{As}_x\text{Se}_{1-x}$, $\text{Ge}_x\text{S}_{1-x}$, $\text{Ge}_x\text{Se}_{1-x}$. В зависимости от химической природы материнского изотопа возможно введение дочернего атома либо в узлы мышьяка, либо в узлы халькогена.

Примесные атомы олова, образующиеся после радиоактивного распада атомов ^{119}Sb стабилизируются в узлах мышьяка виде центров двухвалентного трехкоординированного олова Sn_3^{2+} и четырехвалентного шестикоординированного олова Sn_6^{4+} , образующих химические связи с атомами халькогена; они отвечают ионизованным состояниям амфотерного двухэлектронного центра с отрицательной корреляционной энергией: центр Sn_6^{4+} представляет собой ионизованный донор D^+ , а центр Sn_3^{2+} - ионизованный акцептор D^+ , причем нейтральное состояние U^- -центра оказывается нестабильным и оно распадается по реакции $2D^0 \rightarrow D^- + D^+$.

Стекла $\text{As}_x\text{Se}_{1-x}$ и $\text{As}_x\text{S}_{1-x}$ построены из структурных единиц двухкоординированного халькогена ($-\text{As}-\text{X}-\text{As}-$) и ($-\text{As}-\text{X}-\text{X}-\text{As}-$), причем по мере возрастания содержания халькогена в составе стекла увеличивается доля структурных единиц ($-\text{As}-\text{X}-\text{X}-\text{As}-$) и одновременно увеличивается доля состояний Sn_6^{4+} в узлах мышьяка.

Примесные атомы олова, образующиеся после радиоактивного распада атомов $^{119\text{m}}\text{Te}$ в структуре стекол $\text{As}_x\text{S}_{1-x}$ и $\text{As}_x\text{Se}_{1-x}$, стабилизируются как в узлах мышьяка (в виде центров четырехвалентного шестикоординированного олова Sn_6^{4+} , образующего химические связи с атомами халькогена), так и в узлах халькогена (в виде центров, образующих химические связи, характерные для полуметаллических соединений олова с мышьяком).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. В. Марченко.

ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ

А. Г. Егоров, А. С. Тизилов
Тольяттинский государственный университет

На современном этапе развития сложных технических систем, потенциальные возможности совершенствования технических объектов кроются в выявлении, исследовании и использовании материалов, новых по своим характеристикам, свойствам и функциональным возможностям.

В наибольшей степени этим параметрам удовлетворяют материалы, полученные методами порошковой металлургии. Исследованиями [1] установлена целесообразность метода получения порошков металлов сжиганием последних в прямоточной камере сгорания, в потоках активных газов. Размеры частиц получаемых на такой установке, на примере оксида алюминия, достигали значений от 25 до 175 нм.

Встает вопрос о возможности получения частиц меньшего размера. Экспериментально установлено [2, 3] изменением термодинамических параметров газовой фазы и исходных порошков металлов, можно влиять на форму и структуру частиц продуктов сгорания, таким образом получая порошки с заданными свойствами.

Для решения этой задачи необходимо создание более эффективных установок синтеза ультрадисперсных порошков металлов, для изучения влияния параметров горения на получение конечного продукта.

В работе рассматривается схема экспериментальной установки с вихревой камеры сгорания. Вихревая камера сгорания отличается от прямоточной камеры [4] возможностью создавать на оси установки область пониженного давления, где повышается время пребывания частиц и увеличивается полнота сгорания частиц. Наличие совокупности вышеописанных факторов приводит к уменьшению гранулометрического состава синтезируемых порошков [3].

1. А. Ю. Крюков, В. И. Малинин, С. Г. Ярушин. Оценка возможности промышленного производства высокодисперсных порошков методом сжигания газозвесей порошковых материалов.

2. И. А. Семенов, Б. В. Мацеевич. Динамические особенности горения газозвесей полидисперсных порошков алюминия

3. Д. А. Ягодников, Е. И. Гусаченко. Экспериментальное исследование дисперсности конденсированных продуктов сгорания аэрозвеси частиц алюминия.

4. В. И. Малинин. Внутрикамерные процессы в установках на порошкообразных металлических горючих

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. А. Г. Егоров.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ДИФФУЗИЯ МЕДИ В ГЕРМАНИИ, СТИМУЛИРОВАННАЯ АТОМАРНЫМ ВОДОРОДОМ

Е. В. Ерофеев, А. И. Казимиров

Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

Тонкопленочные медно-германиевые соединения являются перспективными материалами для микро- и нанозлектроники. Соединения меди с германием обладают низким значением слоевого сопротивления, соизмеримого с чистой пленкой меди, высокой стойкостью к окислению на воздухе, а также низкой химической и диффузионной активностью [1]. Однако основным недостатком известных в настоящее время способов их получения [2] является использование высоких температур ($> 400\text{ }^{\circ}\text{C}$), при этом могут происходить: рост паразитных пленок, диффузия фоновых примесей на большую глубину и другие негативные процессы.

Для уменьшения общей температуры в технологической системе можно использовать энергию экзотермической химической реакции. Наиболее удобной в этом случае представляется реакция рекомбинации атомов водорода в молекулу, в результате которой выделяется сравнительно большая энергия: 4,5 эВ на один акт рекомбинации атома водорода в молекулу [3]. Несомненным преимуществом вышеописанной реакции является тот факт, что протекает она уже при комнатной температуре. В случае значительной концентрации атомов водорода в газовой фазе могут эффективно стимулироваться диффузионные процессы на поверхности и в приповерхностных слоях полупроводниковых кристаллов.

В настоящей работе рассматривается возможность низкотемпературного получения тонкопленочных медно-германиевых соединений при использовании обработки в потоке атомарного водорода.

1. Pat. US 5 288 456. Compound with room temperature electrical resistivity comparable to that of elemental copper / Aboelfotoh, Mohamed O.; Brady, Michael J.; Krusin-elbaum, Lia. №: 08/021146; filed 02/23/1993; date of patent: 02/22/1994.

2. M. O. Aboelfotoh, S. Oktyabrsky, and J. Narayan. Electrical and microstructural characteristics of GeCu ohmic contacts to *n*-type GaAs // J. Mater. Res., Vol. 12, No. 9, 1997, pp. 2325–2332

3. В. А. Лавренко. Рекомбинация атомов водорода на поверхности твердых тел. Киев, Наук. Думка. 1973.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. А. Кагадей.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУЦИРОВАННОГО ДРЕЙФА МОЛЕКУЛЫ В ЖИДКОСТИ

М. В. Зеликман

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Изучение механизмов химических реакций требует понимания динамических процессов, происходящих на атомном уровне. Одним из методов таких исследований является эксперимент по рекомбинации радикальных пар в электрическом поле. Для интерпретации результатов таких экспериментов используется теория Смолуховского. Существенным упрощением здесь является предположение, что ион-радикал сразу после возникновения приобретает свою дрейфовую скорость.

Для современных экспериментов, использующих фемтосекундные времена, становится важным учет переходного периода при выходе молекулы на диффузионное движение. Для случая плотной жидкости, когда нужно учитывать взаимодействия данной молекулы с большим числом молекул окружения, не существует простого теоретического описания этого процесса. Однако ответ на вопрос может дать компьютерное моделирование. В этой работе моделируются молекулярно-динамические модели Леннард-Джонсовских жидкостей и проводится их анализ.

Используя моделирование, мы исследовали процесс выхода на диффузионное движение атома под действием мгновенно возникающей силы. Обнаружен переходный режим (на временах порядка 0,5 псек, в зависимости от используемых условий и состояния жидкости), после которого устанавливается постоянный дрейф данного атома. Рассмотрено соответствие изучаемого переходного процесса с поведением автокорреляционной функции скорости для чистой жидкости. Известно, что автокоррелятор скорости в плотной жидкости ведет себя нетривиальным образом на данных временах, в чем проявляется известный «клеточный» эффект в жидкости – задержка, на некоторое время, атома жидкости в своем окружении. Масштаб данного эффекта зависит от плотности жидкости. Высказывается предположение, что эта особенность плотных жидкостей определяет также переходный период для установления диффузионного движения. Исследуются компьютерные модели жидкостей при разной плотности.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Н. Н. Медведев.

ИНИЦИИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ФУАЗАНОТЕТРАЗИНДИОКСИДА ИЗЛУЧЕНИЕМ ИМПУЛЬСНОГО Nd:YAG ЛАЗЕРА

А. А. Квасов, В. П. Ципилёв
Новосибирский государственный университет
Томский политехнический университет

5,6-(3',4'-фуразано)-1,2,3,4-тетразин-1,3-диоксид (ФТДО) – высокоэнергетическое вещество, оно имеет энтальпию образования не менее 1000 кал/г. Высокая чувствительность к механическим воздействиям затрудняет его практическое применение. Кристаллизованные смеси ФТДО и 2,4-динитро-2,4-диазапентана (ДНП) могут быть использованы в качестве топлив для газогенераторов различного типа. Особенно интересны: молекулярное соединение (МС) с массовым соотношением ФТДО / ДНП = 49 / 51 и эвтектика, с массовым соотношением ФТДО / ДНП = 65 / 35.

Лазерное инициирование может служить экспрессным методом определения чувствительности образцов конденсированных систем (КС). В данной работе было исследовано инициирование молекулярного соединения (МС) и эвтектики первой гармоникой неодимового лазера: длина волны излучения 1064 нм, длительность импульса на полувывоте 15 нс. Смеси кристаллизовались в металлических кюветах, диаметр отверстия 3 мм. Применялись кюветы с прозрачным (стеклянным) и непрозрачным (металлическим) дном.

Получены следующие результаты:

— найдены пороговые значения плотности энергии лазерного излучения, необходимой для инициирования взрыва. Для МС эта величина 80 мДж/см², для эвтектики 50 мДж/см²;

— определены времена индукционного периода. Эта величина также зависит от состава смеси. Для МС на пороге она 60–160 мкс, для эвтектики 5–15 мкс;

— в опытах с прозрачным дном пороговая плотность энергии увеличивается в 2–3 раза;

— исследовано влияние величины зазора между образцом и стеклянной пластиной, которой образец прижат сверху для исключения газодинамической разгрузки, на значение энергетического порога. В случае зазора 150 мкм порог увеличивается в 2–3 раза, при 15 мкм – практически не изменяется.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Е. Зарко.

U–ЦЕНТРЫ ОЛОВА В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И СТЕКЛООБРАЗНЫХ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

М. Ю. Кожокарь, А. В. Зайцева

Российский государственный педагогический университет
им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург

Настоящая работа посвящена идентификации методом эмиссионной мессбауэровской спектроскопии на изотопах ^{119}Sb ($^{119\text{m}}\text{Sn}$) двухэлектронных центров олова с отрицательной корреляционной энергией (U–центров) в классических представителях халькогенидных полупроводников – кристаллических сульфиде, селениде и теллуриде свинца (PbS, PbSe, PbTe), стеклообразных сульфидах и селенидах германия (GeS_2 , Ge_2S_3 , GeSe_2 , Ge_2Se_3). Предполагалось, что использование эмиссионного варианта мессбауэровской спектроскопии создаст условия для стабилизации центров олова в различных узлах кристаллической структуры халькогенидов свинца и различных узлах структурной сетки стеклообразных халькогенидов германия, и определение природы электрической активности этих центров.

Атомы олова, образующиеся после радиоактивного распада ^{119}Sb в катионных узлах кристаллических решеток PbS и PbSe являются донорными U–центрами, причем атомы Sn_6^{2+} и Sn_6^{4+} отвечают соответственно нейтральному и двукратно ионизованному состояниям донорного центра, тогда однократно ионизованное состояние U–центра (Sn_6^{3+}) оказывается нестабильным.

Центры олова, образующиеся после радиоактивного распада ^{119}Sb в узлах германия структурной сетки стекол GeS_2 , Ge_2S_3 , GeSe_2 , Ge_2Se_3 являются амфотерными U–центрами, причем состояние Sn_3^{2+} является однократно ионизованным акцептором, а состояние Sn_6^{4+} – однократно ионизованным акцептором, а нейтральные состояния этих центров оказывается нестабильным.

Различие в природе электрической активности U–центров олова в кристаллических халькогенидах свинца и стеклообразных халькогенидах германия объясняется соответствием (в PbS и PbSe) или несоответствием (в Ge_2S_3 и Ge_2Se_3) валентных состояний замещаемого и замещающего атомов ($\text{Pb}^{2+} / \text{Sn}^{2+}$ и $\text{Ge}^{3+} / \text{Sn}^{2+}$)

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. В. Марченко.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ В МОЛЕКУЛЯРНЫХ КРИСТАЛЛАХ НАФТАЛИНА И АНТРАЦЕНА

М. Ю. Киямов

Кемеровский государственный университет

π -сопряженные углеводороды являются многообещающими кандидатами низкокзатратных, легкополучаемых материалов для электрооптических и электронных приложений. Они характеризуются двумя типами взаимодействий: сильным ковалентным между атомами внутри молекулы и с другой стороны слабым Ван-дер-Ваальсовыми силами между молекулами. В данной работе изучаются механизмы образования химической связи в молекулярных нафталине и антраcene.

Для расчетов использовался программный пакет CRYSTAL06 и реализованные в нем методы Хартри-Фока, теории функционала плотности с локальным, градиентным и гибридным B3LYP обменно-корреляционными потенциалами в базе линейной комбинации атомных орбиталей гауссова типа. Наилучшие данные по геометрическим параметрам структуры молекул и кристаллов были получены при использовании метода теории функционала плотности с гибридным обменно-корреляционным потенциалом.

Для исследования характера химической связи используются распределения кристаллической, деформационной (получена вычитанием из кристаллической суперпозиции плотностей свободных атомов) и разностной (вычитанием из кристаллической суперпозиции свободных молекул) плотностей, а также полных заселенностей электронных оболочек атомов и заселенностей перекрывания.

В деформационной плотности максимум приходится на середину линии связи C-C, как это принято в теории ковалентной связи. $\Delta\rho(\mathbf{r})$ имеет максимальные значения на позициях атомов углерода и водорода между которыми имеются общие контурные линии $\Delta\rho(\mathbf{r})$. При этом максимума плотности на линии связи C-H нет, и это свидетельствует о том, что связь здесь имеет более сложный характер. Разностная плотность показывает, что взаимодействие молекул приводит к натеканию заряда в центр молекулы и на линию связи атомов углерода и центральных атомов водорода. Заряд также натекает в области на линии C-H крайних атомов, но в меньших количествах и ближе к ядру углерода. Именно крайние атомы водорода находятся на ближайшем расстоянии от соседних молекул и возможно именно между ними возможна связь, обеспечивающая стабильность кристаллической структуры.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ю. Н. Журавлев.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ КРИТИЧЕСКИХ ЗАРОДЫШЕЙ В ПРОЦЕССЕ НУКЛЕАЦИИ ИЗ ПЕРЕСЫЩЕННОГО ПАРА

А. Ю. Комаровских^{1,2}, С. В. Валиулин¹

¹Институт химической кинетики и горения СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Понятие критического зародыша играет ключевую роль в термодинамике нуклеации, т. е. образовании новой фазы из пересыщенной материнской фазы. Знание свойств критического зародыша необходимо для понимания кинетики фазового перехода, условий стабильности и неустойчивости наностистем и т.д. До настоящего времени не существовало подходов для экспериментального измерения размера критического зародыша. Настоящая работа представляет методику, позволяющую экспериментально определить размер критического зародыша. Суть ее в том, что в ламинарную проточную камеру, содержащую пересыщенный пар, подаются «затравочные» наночастицы, играющие роль нуклеационных центров. Затравочные частицы образуются с помощью специально разработанного генератора наночастиц. Нами использовались «затравочные» наночастицы оксида вольфрама и хлорида натрия со средними размерами от 4 до 15 нм. Распределения наночастиц по размерам до и после гетерогенной нуклеации пара регистрировались с помощью диффузионного спектрометра аэрозоля (ДСА). Показано, что в присутствии пара серы, исходный пик в спектре распределения трансформируется в два пика. Один из них соответствует тем исходным частицам, размер которых был меньше размера критического зародыша, и потому, конденсация пара на них не происходила. Второй пик соответствует исходным частицам с размером больше критического, на которых происходила конденсация.

Область внутри реактора, в которой происходила конденсация пара серы на «затравочные» частицы, находили методом отсечки пересыщения. Аксиальный профиль средней по сечению концентрации пара определяли экспериментально из разницы масс серы испарившейся из ложечки и осевшей на стенку за единицу времени. Профили температуры измеряли с помощью хромель-алюмелевой термопары. Опираясь на эти данные, находили радиальные распределения концентрации пара и пересыщения из решения задачи массопереноса. В результате были определены размеры критических зародышей в зависимости от пересыщения и температуры.

Научные руководители – д-р хим. наук А. А. Онищук, канд. физ.-мат. наук В. В. Карасев.

ПЕРЕНОС ЗАРЯДА В КОМПЛЕКСЕ ФЕО С НИТРОБЕНЗОЛОМ

И. С. Лысков

Новосибирский государственный университет
Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН

В работе поставлен вопрос о характере электронной плотности, переносимой при взаимодействии парамагнитного донора и диамагнитного акцептора электронов: имеет ли место перенос неспаренных электронов или в процесс вовлекаются двукратно занятые оболочки донора. В качестве модели донор-акцепторного комплекса выбрана система FeO-нитробензол [1], изучаемая в связи большим значением данного интермедиата в синтезе различных промышленных продуктов таких как антиоксиданты, инсектициды и фотолаци [2]. Кроме этого реакции восстановления используется для очистки воды от нитроароматики [3].

Для изучения эффекта переноса заряда использован спин-поляризованный подход DFT с анализом разложением неограниченного детерминанта и $\langle S^2 \rangle$ в базисе парных орбиталей [4]. Функция спиновой плотности в базисе парных орбиталей может быть представлена суммой двух вкладов:

$$\rho^s = \sum_i^{n-m} |\varphi_i|^2 + \sum_i^m [(|\varphi_i|^2 - |\varphi_i^v|^2) \sin^2(2\theta_i) - \sum_i^m \varphi_i \varphi_i^v \sin(4\theta_i)]$$

Первое слагаемое описывает плотность неспаренных электронов, второе и третье – спиновую плотность, индуцированную поляризацией двукратно занятых оболочек.

Показано, что в изучаемом комплексе имеет место перенос электронной плотности с частично занятых орбиталей железа на нитрогруппу. Электронный перенос ассоциируется с увеличением спинового подмешивания в $\langle S^2 \rangle$ по сравнению с изолированным фрагментом FeO. При этом неспаренные электроны не вовлечены в процесс переноса электронной плотности.

1. I. Zilberberg, M. Pchenko, O. Isayev, et al., Modeling. J. Phys. Chem. 108. 2004. 4878–4886A.

2. A. Malta, S. C. van Wermeskerken et al. J. Mol. Cat. 93 (1994) 305–316T.

3. B. Hofstetter, C. G. Heijman, S. B. Haderlein et al. Environmental Science Technology. 33. 1999. 1479–1487.

4. I. Zilberberg, S. Ph. Ruzankin. Chem. Phys. Lett. 394. 2004. 165–170.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. Л. Зильбербер.

КИНЕТИКА ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЯ И РЕЛАКСАЦИИ В ГОМОЭПИТАКСИИ НА ПОВЕРХНОСТИ (001) GaAs

А. А. Лямкина

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Для получения квантовых точек с заданными параметрами (плотность, размеры) в капельной эпитаксии важно контролировать количество центров зародышеобразования на исходной поверхности. Обычно для роста используется поверхность с реконструкцией $\beta(2 \times 4)$, но в процессе нанесения материала происходят изменения поверхности, связанные со встраиванием новых атомов в подложку. Встраивание зависит от большого количества параметров – температура, скорость нанесения, фоновое давление As и т. д. Таким образом, формирование квантовых точек происходит на отличной от исходной поверхности, структуру которой желательно знать и контролировать. Целью данной работы является исследование начальной стадии роста и механизмов зародышеобразования и релаксации в гомоэпитаксии на поверхности (001) GaAs.

Для изучения кинетики релаксации поверхности исследовалась эволюция интенсивности дробного дифракционного рефлекса ($0 \frac{1}{4}$) от кристаллического арсенида галлия в дифракции быстрых электронов на отражение. На исходную поверхность с реконструкцией $\beta(2 \times 4)$ при различных температурах наносилось заданное количество GaAs (скорость нанесения $v = 0,03$ монослоя в секунду). При этом интенсивность сигнала сначала увеличивается при встраивании атомов Ga в $\beta(2 \times 4)$, потом падает (образование нестабильной промежуточной фазы) и затем возрастает до некоторого значения со скоростью, определяемой релаксацией поверхности к исходной реконструкции. Для каждой дозы проводилась серия экспериментов с различными температурами подложки (от 550 до 570 °C). Кинетические кривые были обработаны аппроксимацией экспонентой вида $y = y_0 + A \cdot \exp(-(x-x_0)/\tau)$. Это позволило определить характерное время релаксации в зависимости от температуры. Построив полученную зависимость в аррениусовских координатах, можно оценить энергию активации, которая составила 1,84 эВ.

На основании сравнения полученных результатов с характерными энергиями связей и взаимодействия в системе обсуждается модель зародышеобразования в гомоэпитаксии арсенида галлия.

Научные руководители – д-р хим. наук Ю. Г. Галицын, С. П. Мощенко.

СИНТЕЗ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЁНОК TiO_2 И СТРУКТУРА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ПЕРЕМЕШАННОГО $\text{H}_2/\text{O}_2/\text{Ar}$ ПЛАМЕНИ С ДОБАВКОЙ $\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4$

Р. А. Максютов

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Мезопористые нанокристаллические пленки диоксида титана (TiO_2) являются перспективным материалом для гибридных солнечных элементов (dye sensitized solar cells, DSSC) [1, 2] и газовых анализаторов.

Цель настоящей работы является изучение механизма реакций протекающих при образовании нанопленок TiO_2 в $\text{H}_2/\text{O}_2/\text{Ar}$ (0.129 / 0.144 / 0.727) пламени с добавкой 0.1% $\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4$ на основе экспериментального и численного исследования его структуры.

Экспериментально измерены профили температуры и концентраций H_2 , O_2 , $\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4$ в $\text{H}_2/\text{O}_2/\text{Ar}$ пламени с добавкой 0.1% $\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4$. Для описания превращения добавки $\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4$ в схему реакций окисления водорода введена реакция газофазного термоллиза $\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4(\text{gas}) \rightarrow \text{TiO}_2 + 4\text{C}_3\text{H}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$ с константой скорости $k = 3.96 \times 10^5 \exp(-8479.7/T)$. Получено удовлетворительное согласие результатов численного моделирования с использованием предложенной схемы и экспериментальных данных по структуре $\text{H}_2/\text{O}_2/\text{Ar}$ пламени.

Форма и кристаллическая структура полученных наночастиц TiO_2 изучены с помощью просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения. Установлено, частицы TiO_2 имеют правильную сферическую форму и кристаллическую структуру. Показано, что в пламени $\text{H}_2/\text{O}_2/\text{Ar}$ образуются частицы TiO_2 в полиморфной модификации анатаза диаметром от 5 до 35 нм. Анализ фрагмента пленки TiO_2 позволил установить, что функция распределения по диаметру частиц TiO_2 описывается логнормальным распределением со средним диаметром частиц 12 нм и шириной распределения $\sigma = 1.45$. Установлено, что скорость роста пленок (в расчете на время пребывания подложки в зоне пламени) составляет 1.4 мкм/с

-
1. В. O'Regan, M. Graëtzel, Nature 353 (1991) 737–740.
 2. M. Graëtzel, Nature 414 (2001) 338–344.

Научные руководители – д-р. физ.-мат. наук, проф.
О. П. Коробейничев, канд. хим. наук А. Г. Шмаков.

РАСЧЕТ КАЖУЩЕГОСЯ ОБЪЁМА ГИДРОФОБНЫХ АТОМОВ В МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

А. С. Москалёв

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Изучение влияния растворённого вещества на растворитель представляет большой интерес для химии и молекулярной биологии. Важным параметром, поддающимся экспериментальному измерению является *кажущийся объём* растворенной молекулы. Он определяется как разница объёмов смеси и чистого растворителя $V^{app} = V^{mix} - V^{sol}$, отнесенная к одной молекуле растворённого вещества [1]. Величина кажущегося объема зависит как от самой растворенной молекулы, так и от того, насколько изменяется плотность растворителя в ее сольватной оболочке.

Расчет V^{app} можно проводить используя молекулярно-динамические модели растворов. В традиционном подходе предлагается выделить вокруг растворенной молекулы область растворителя на заданном расстоянии R. Вычисляя объем этой области и число молекул растворителя в нем, можно рассчитать искомые волюметрические параметры. В другом подходе для расчета объема оболочки используются многогранники Вороного. Этот подход имеет определенные преимущества перед первым [2].

Получены молекулярно-динамические модели и проведены расчёты кажущегося объёма атомов благородных газов Ar, Xe и Ne помещенных в воду. Сравняются традиционный метод и подход с использованием многогранников Вороного, учитывающих размер атомов. Буфер, т.е. чистый растворитель (4085 молекул воды) моделировался на протяжении 1 нс. для получения надежного значения среднего объёма, занимаемого молекулой воды. Для расчета кажущегося объема с достаточной точностью требуется провести усреднение по большому числу разных конфигураций модели. Для этого использованы модели растворов соответствующие интервалу времени до 0.1 мкс.

1. E. A. Melwyn-Hughes, Physical Chemistry, Pergamon Press, London, 1961.

2. G. Neumayr, T. Rudas, O. Steinhauser. Global and local Voronoi analysis of solvation shells of proteins. J. Chem. Phys. 133, 084108, 2010.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Н. Н. Медведев.

ТЕОРИЯ ЭФФЕКТА ОВЕРХАУЗЕРА ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ НАКАЧКЕ ЭПР ПЕРЕХОДОВ СТАБИЛЬНЫХ РАДИКАЛОВ

Е. А. Насибулов

Новосибирский государственный университет
Международный томографический центр СО РАН

В данной работе была развита теория эффекта Оверхаузера (так называемая динамическая поляризация ядер – ДПЯ) при импульсной накачке ЭПР переходов стабильных радикалов. Актуальность данной работы обусловлена тем, что ранее были только экспериментальные работы по импульсной ДПЯ. Данная методика позволяет получить усиление, сравнимое с достигаемым при непрерывной накачке, при существенно меньших затратах мощности накачки.

В работе рассматривались периодические импульсные последовательности с длительностью импульса τ_p и интервалом между импульсами τ . Длительность каждого периода $\tau + \tau_p$ считалась много меньшей времён ядерной T_1 -релаксации и электрон-ядерной кросс-релаксации. Количество импульсов считалось настолько большим, что электронная поляризация после каждого периода возвращалась к стационарному значению (возможность пренебречь переходными процессами). Была получена следующая общая формула для усиления сигнала ЯМР за счёт ДПЯ:

$$\varepsilon = \xi f \cdot \frac{\gamma_e}{\gamma_n} \sum_i F_i(\tau_p, \tau; T_1^e, T_2^e; \delta\omega_i, \omega_1)$$

Здесь f – фактор утечки, ξ – фактор связи, γ_e и γ_n – электронное и ядерное гиромагнитные отношения, F – функция времён τ и τ_p , времён T_1^e и T_2^e продольной и поперечной электронной релаксации, интенсивности переменного магнитного поля ω_1 и отстройки от резонанса $\delta\omega_i$; суммирование ведётся по компонентам спектра ЭПР. Была написана программа для численного расчёта функции F , для некоторых специальных случаев была получена аналитическая формула для F . В общем случае в зависимости усиления от длительности импульса τ_p наблюдаются биения, что говорит о принципиальной важности рассмотрения когерентных эффектов.

Настоящая методика была использована для описания экспериментов по ДПЯ в слабых магнитных полях, проводившихся в Свободном университете Берлина на двух частотах накачки: 300 МГц и 1,4 ГГц. Обнаружено хорошее согласие теории и эксперимента.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, К. Л. Иванов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТРЕТ-БУТИЛОВОГО СПИРТА В ЦЕОЛИТНЫХ СТРУКТУРАХ ТИПА MFI МЕТОДОМ ^2H ЯМР СПЕКТРОСКОПИИ

А. М. Нищенко

Институт катализа им. Г. К. Борескова
Новосибирский государственный университет

Работа посвящена исследованию динамики трет-бутилового спирта (ТБС) в объеме микропористых соединений структуры MFI. Для этого применялся метод ^2H ЯМР спектроскопии твердого тела к изучению динамики ТБС, адсорбированного на силикалит и цеолит ZSM-5. Выбор данных систем обусловлен интересом к реакции каталитического превращения ТБС и метанола в метил трет-бутил эфир, протекающей на внутренней поверхности пор цеолита ZSM-5. Изучение влияния ограниченного пространства пор цеолита на подвижность молекулы поможет установить причину возникновения благоприятных условий для данной реакции.

Силикалит является бескислотным аналогом цеолита ZSM-5, поэтому движение молекулы как целого по его каналам не осложнено наличием OH групп на внутренней поверхности пор, что дает возможность характеризовать это движение. Однако подвижность молекулы как целого мешает определить параметры внутримолекулярного движения ТБС. Поэтому дополнительно исследовалось подвижность молекулы ТБС, адсорбированной на кислотных центрах в порах цеолита ZSM-5.

Для определения динамики молекулы применялась ^2H ЯМР спектроскопия [1]. Данный метод позволяет получить информацию, как о диффузии молекул, так и о внутримолекулярных движениях. Анализ формы линии спектра дает информацию о движениях с характерными временами от 10^{-4} до 10^{-6} с, измерение зависимости времен T_1 релаксации от температуры позволяет расширить временной диапазон исследования до 10^{-7} – 10^{-10} с.

В данной работе представлен анализ спектров ТБС, дейтерированного в CH_3 и OH группах, адсорбированного на силикалит и ZSM-5 в диапазоне температур от 113 до 453 °K, а так же зависимость T_1 релаксации от температуры для ТБС, адсорбированного на цеолит ZSM-5. Методами компьютерного моделирования определена модель динамики молекул внутри пор цеолита ее параметры.

1. P. Diehel, E. Fluck, R. Kosfeld, Dynamic NMR Spectroscopy. 1978.

Научный руководитель – д-р хим. наук, доцент А. Г. Степанов.

КОНТРОЛИРУЮЩИЕ АГЕНТЫ «ЖИВОЙ» ПОЛИМЕРИЗАЦИИ С рН-ИЗМЕНЯЕМЫМИ КИНЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Д. А. Пархоменко

Международный томографический центр СО РАН
Новосибирский государственный университет

Полимеризация, контролируемая нитроксильными радикалами, является одним из современных методов синтеза высококачественных полимеров. Этот метод позволяет получать полимерные материалы с заданной микроструктурой и узким молекулярно-массовым распределением, что в свою очередь определяет макроскопические свойства материала.

Ключевыми реакциями полимеризация, контролируемой нитроксильными радикалами, являются диссоциация макроалкоксиамина с константой скорости k_d и реакция рекомбинации радикалов цепи с нитроксильными радикалами с константой скорости k_c . Условием протекания полимеризации в контролируемом режиме являются оптимальные значения констант скорости обратимой диссоциации алкоксиаминов.

Недавно Ризардо с коллегами была предложена концепция рН-переключаемых контролирурующих агентов в RAFT полимеризации. В настоящей работе данная концепция была расширена на полимеризацию, контролируемую нитроксильными радикалами. В качестве контролирующих агентов полимеризации были использованы нитроксильные радикалы имидазолинового и имидазолидинового ряда, содержащие функциональные протонируемые группы, а в качестве инициаторов полимеризации использовались алкоксиамины, содержащие протонируемые группы как в нитроксильной и алкильной частях, так и только в нитроксильной части алкоксиамина. Кроме того, был исследован алкоксиамин на основе нитроксильного радикала SG1, не имеющего протонируемых групп, и алкильного радикала, содержащего с пиридиновый фрагмент с протонируемой группой. Для измерения рКа протонируемых групп алкоксиаминов был использован метод ЯМР. Методом ЯМР и ЭПР были измерены константы скорости гомолиза алкоксиаминов при различных рН. Было обнаружено, что при переходе от кислого к щелочному значению рН среды константы скорости гомолиза алкоксиаминов увеличиваются в 10–15 раз, константы скорости рекомбинации алкильных и нитроксильных радикалов меняются незначительно и уменьшается менее чем в 2 раза. Продемонстрирована возможность применения рН-среды для достижения контролируемого режима полимеризации и улучшения параметров получаемых полимеров.

Научные руководители – д-р. физ.-мат. наук, проф. Е. Г. Багрянская, М. В. Еделева.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ЯДЕРНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ И ЕЕ КОГЕРЕНТОГО ПЕРЕНОСА ЗА СЧЕТ СКАЛЯРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПИНОВ

А. Н. Правдивцев

Международный томографический центр СО РАН
Новосибирский государственный университет

Химическая поляризация ядер (ХПЯ) обычно формируется в короткоживущих радикальных парах за счет сверхтонкого взаимодействия. Было установлено, что в диамагнитных продуктах реакции поляризация может быть перенесена на другие ядра в тех магнитных полях, для которых выполняется условие сильной связи: разность частот за счет разности химических сдвигов становится сравнимой со скалярным спин-спиновым взаимодействием. Задачами настоящей работы были разработка программы и численное моделирование когерентного переноса поляризации в произвольном магнитном поле для многоспиновой системы ядер, связанных скалярным взаимодействием. При моделировании учитывался реальный временной профиль изменения магнитного поля. Моделирование проводилось для системы из четырех взаимодействующих спинов с использованием ЯМР параметров ароматических протонов остатка триптофана, а также для трех спинов α -СН и β -СН₂ протонов в пептидной группы, для которых экспериментально наблюдался когерентный перенос ядерной поляризации. В качестве начальных условий численно рассчитывалась матрица плотности спиновой системы, находящейся в неравновесном состоянии за счет ХПЯ. Было исследовано влияние ряда параметров (ЯМР параметры, скорость и профиль переключения поля, тип начальной поляризации) и проведено сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными, полученными в группе фотохимических радикальных реакций МТЦ СО РАН совместно с группой профессора Х.-М. Фита из Свободного университета Берлина. Полученные результаты численного моделирования неплохо согласуются с экспериментальными данными и позволяют предсказать вклад в квантовые биения более высоких гармоник, по сравнению с обнаруженными в эксперименте.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук А. В. Юрковская, д-р физ.-мат. наук К. Л. Иванов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕКСТУРЫ ПЛЕНОК ОРИЕНТИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ПОМЕЩЕННЫХ В ПОЛИМЕРНУЮ МАТРИЦУ

А. Г. Селютин

Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН
Новосибирский государственный университет

Квазиодномерный характер транспортных, электронных, оптических, химических, структурных и др. свойств углеродных нанотрубок (УНТ) даёт возможность применения массива ориентированных УНТ для создания на их основе новых композиционных материалов. Так, вызывает интерес их применение в качестве проводящей и армирующей основы в электромагнитных поглотителях.

В ходе исследования были созданы образцы ориентированных УНТ, помещенных в матрицу полимеров. В качестве полимеров использовались полиметилметакрилат (ПММА), полиэфирная смола. Массив ориентированных многослойных УНТ были синтезированы методом аэрозольного CVD синтеза (метод химического осаждения из газовой фазы) на кремниевых подложках ориентации (100) размером $10 \times 10 \text{ мм}^2$. Толщина массива варьировалась от 250 мкм до 1000 мкм.

Разработан методика получения композиционного материала на основе массива ориентированных УНТ и полимера. Показано влияние газов в массиве УНТ и вязкостных свойств полимера на степень заполнения композитом массива. Установлено, что наилучшее заполнение достигается при пониженном давлении и при наименьшей вязкости полимера. В зависимости от типа полимера рассмотрено изменение структуры композитов в сравнении с исходной текстурой ориентированных УНТ. Установлено, что наименьшее влияние на структуру оказывает полимером, усадка которого при полимеризации меняется меньше всего.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. В. Окотруб.

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ НИТРИДОВ СЕРЕБРА

И. В. Старикова

Кемеровский государственный университет

Сегодня успехи первопринципных квантово-механических вычислений атомной и электронной структуры позволяют теоретическое моделирование новых материалов, предсказывают их свойства и подсказывают новые способы синтеза. Нитриды серебра за исключением, Ag_3N , до настоящего времени не синтезированы. Тем не менее, некоторые из них явились предметом теоретического изучения, поскольку их свойства могут оказаться весьма интересными с практической точки зрения. В настоящей работе изучается уравнение состояния этих кристаллов. Уравнение состояния является основным соотношением в физике высоких динамических давлений.

Так называемое «холодное» уравнение состояния описывает в аналитической форме зависимость полной энергии от объема $E(V)$ или давления от объема $P(V)$ при сжатии или растяжении кристалла при нулевой температуре. В качестве параметров этого уравнения выступают модуль всестороннего сжатия B , его производная по давлению B' и равновесный объем V_0 . Расчеты полной энергии проводились в рамках первопринципных методов линейной комбинации атомных орбиталей, комплекса программ CRYSTAL06. В рамках теории функционала электронной плотности использовались приближения локальной плотности (LDA) и градиентное приближение к обмену и корреляции в варианте Perdew-Becke-Ernzerhof (PBE).

Рассматриваются все возможные варианты структур. Для AgN это RS (пр. группа симметрии $Fm\bar{3}m$), ZB ($F43m$), CsCl ($Pm\bar{3}m$); для AgN_2 возможен только один вариант – флюорит ($Fm\bar{3}m$); Ag_2N – два: антифлюорит (aF, $Fm\bar{3}m$) и куприт (Cu_2O , $P4_232$); Ag_3N – анти- ReO_2 (aR, $Pm\bar{3}m$). Элементарные ячейки AgN , AgN_2 , Ag_2N (aF), Ag_3N содержат по одной формульной единице, и Ag_2N (Cu_2O) – две. Используются уравнения состояния в формах, предложенных Murnaghan, Birch, Vinet, Li. Для трехпараметрического уравнения Vinet параметры V_0 , B_0 и B' для AgN (RS), AgN (CsCl), AgN (ZB), AgN_2 , Ag_2N (aF), Ag_3N для PBE-расчетов соответственно равны: 24.682, 23.643, 30.306, 34.526, 46.119, 79.351 Å; 149.2, 159.9, 110.5, 162.4, 127.7, 78.5 ГПа; 1.344, 7.63, 5.922, 7.106, 4.679, 4.786. При уменьшении объема давление растет быстрее для AgN_2 , Ag_2N , Ag_3N и примерно одинаковым образом для всех остальных нитридов. Установлена также зависимость модуля всестороннего сжатия от давления.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ю. Н. Журавлев.

КВАНТОВОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАГНЕТИКОВ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОВ МЕДИ (II) С НИТРОНИЛ-НИТРОКСИЛЬНЫМИ РАДИКАЛАМИ $\text{Cu}(\text{hfac})_2\text{L}^{\text{R}}$

Е. А. Сутурина

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Комплексы меди (II) с нитронил-нитроксильными радикалами (NNR) полимерно-цепочечной структуры ($\text{Cu}(\text{hfac})_2\text{L}^{\text{R}}$) принадлежат интересному классу молекулярных магнетиков, которые претерпевают обратимые термоиндуцируемые структурные изменения, сопровождаемые изменениями магнитной восприимчивости. Цепочки состоят из чередующихся антиферромагнитно-связанных триад (NNR-Cu-NNR) и магнитоизолированных комплексов меди. При высоких температурах спины в триадах слабо связаны ($|J| \ll kT$). При низких температурах ($T < 50$ °К) изменения структуры таковы, что возникает сильное антиферромагнитное взаимодействие ($|J| \gg kT$) эффективно связывающее спины спиновой триады, приводя к ее низкоспинову состоянию ($S = 1/2$) [1].

Однако при очень низких температурах ($T < 10$ °К) наблюдается дальнейшее уменьшение магнитной восприимчивости и магнитного момента, которое не было ранее объяснено. Методом ЭПР было показано, что при этих температурах наблюдается падение сигнала только от триад. Чтобы объяснить наблюдаемое явление, нами проведены расчеты обменных взаимодействий между наиболее близко расположенными NNR, принадлежащими различным триадам.

Параметры парных обменных взаимодействий ($J_{\text{R-R}}$) рассчитаны неограниченным по спину методом теории функционала плотности нарушенной симметрии для структур, полученных методом РСА при соответствующих температурах. Расчеты демонстрируют неплохое количественное согласие с экспериментом, что подтверждает предположение о том, что низкотемпературное ($T \leq 10$ °К) поведение магнитных свойств обусловлено антиферромагнитным взаимодействием ближайших NNR соседних полимерных цепей. Таким образом, спиновые триады формируют бесконечные антиферромагнитно связанные цепи, которые распространяются поперек полимерных цепей. На основании анализа расчетных данных дано объяснение зависимости рассмотренного эффекта от структура исследованных солей.

1. Fedin M., Veber S. Gromov I., Maryunina K., Fokin S., Romanenko G., Sagleev R., Ovcharenko V., Bagryanskaya E., *Inorg. Chem.*, 2007, 46, 11405.

Научный руководитель – д-р хим. наук, проф. Н. П. Грицан.

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДИНАМИКИ И ЛОКАЛИЗАЦИИ МОЛЕКУЛ ПЕПТИДА TRICHOGIN GA IV В МОДЕЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕМБРАНАХ

В. Н. Сырямина

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время все больший интерес к себе привлекают пептиды в качестве новых антибиотиков. Известно, что пептиды формируют каналы в мембране, в результате чего гибнут бактериальные клетки. Интерес к trichogin GA IV вызван тем, что размера данного пептида недостаточно, чтобы образовать поры в мембране по известным механизмам.

В данной работе были приготовлены многослойные везикулы липида ПОФХ (1-пальмитоил-2-олеоил-фосфотидилхолин) с пептидом trichogin GA IV при низкой и высокой концентрации пептида (молярное отношение составляло 1 : 200 и 1 : 20 соответственно). В качестве спиновых зондов использовались спин-меченые в 1-ом и 8-ом положении аналоги trichogin GA IV.

Положение спиновых меток в мембране определялось по спектрам стационарного ЭПР и методом стимулированного электронного спинового эха (СЭСЭ). Метод СЭСЭ позволяет фиксировать сверхмалоамплитудные движения порядка $0.1^\circ - 1$ и разделять вклады от быстрых ограниченных движений с временами корреляции $\tau_c < 10^{-6}$ с и медленных движений с $\tau_c \sim 10^{-3}$ с [1].

В результате данной работы было получено, что при низкой концентрации trichogin GA IV в мембране, молекулы пептида лежат параллельно поверхности липидного бислоя. При таком расположении наблюдаются только быстрые ограниченные движения спиновых меток. При увеличении концентрации пептида молекулы меняют свое положение на трансмембранное, погружаясь N-концом в мембрану и формируя димеры [2]. При этом появляются медленные неограниченные вращения меток. Появление медленных движений может быть связано с положением пептида в мембране - в трансмембранном положении появляется возможность для вращения молекул вокруг своей оси. Полученные результаты позволяют предложить новую - динамическую - модель формирования каналов в клеточной мембране.

1. Isaev, N. P.; Syryamina, V. N.; Dzuba, S. A. Appl. Magn. Reson. 2010, 37, 405-413.

2. Salnikov E.S., Erilov D.A., Milov A.D., Tsvetkov Yu.D., Peggion C., Formaggio F., Toniolo C., Raap J., Dzuba S.A. Biophys. J. 2006, 91, 405-413.

Научный руководитель - д-р. физ.-мат. наук проф. С. А. Дзюба.

КВАНТОВЫЙ ВЫХОД ОБРАЗОВАНИЯ СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА ПРИ УФ-ФОТОВОЗБУЖДЕНИИ «СТОЛКНОВИТЕЛЬНЫХ» КОМПЛЕКСОВ O_2-O_2 И O_2-N_2

А. П. Трушина

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Оптические переходы в молекулах O_2 , реализуемые под действием излучения от инфракрасного до ультрафиолетового диапазонов, запрещены по симметрии и/или по спину. Однако известно, что межмолекулярное взаимодействие нарушает симметрию и приводит к росту сечения поглощения излучения кислородом на порядки величины, что делает запрещенные в изолированной молекуле O_2 переходы разрешенными в «столкновительном» комплексе $X-O_2$.

При исследовании фотохимии Ван-дер-Ваальсовых комплексов кислорода $X-O_2$ с применением техники измерения «карт скоростей» (velocity map imaging) [1] из анализа энергии атомов кислорода, образующихся при фотодиссоциации комплексов $X-O_2$, было установлено, что фотовозбуждение комплексов $X-O_2$ приводит к образованию молекул синглетного кислорода $O_2(^1\Delta_g)$. Изучение этого механизма представляет фундаментальный интерес и является важной задачей для анализа фотохимических процессов атмосферы.

Одной из важных задач при изучении механизма фотохимического процесса является определение квантового выхода образования продуктов реакции. В настоящей работе проводится измерение квантового выхода образования $O_2(^1\Delta_g)$ при облучении чистого кислорода в диапазоне длин волн от 239 до 266 нм и смеси O_2-N_2 на длине волны 266 нм. В результате экспериментов с чистым кислородом выявлен рост квантового выхода образования синглетного кислорода из комплексов O_2-O_2 от 0.2 до 1.5 с ростом длины волны.

В атмосфере доминирующим механизмом образования $O_2(^1\Delta_g)$ принято считать фотолиз озона $O_3 + h\nu \rightarrow O_2(^1\Delta_g) + O(^1D)$ в диапазоне длин волн 200 ÷ 300 нм. Исходя из высоких значений квантового выхода образования $O_2(^1\Delta_g)$, полученных в настоящей работе, можно сделать предположение о том, что в атмосфере канал образования синглетного кислорода $O_2(^1\Delta_g)$ из комплексов O_2-O_2 конкурирует с каналом образования из озона.

1. A. V. Baklanov, G. A. Bogdanchikov, K. V. Vidma, D. A. Chestakov, D. H. Parker, Cluster-enhanced $X-O_2$ photochemistry ($X = CH_3I, C_3H_6, C_6H_{12},$ and Xe), J. Chem. Phys. 126, 124316. 2007.

Научный руководитель – д-р хим. наук, проф. А. В. Бакланов.

ИЗУЧЕНИЕ ФОТОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСНОВНЫХ УФ-ФИЛЬТРОВ ХРУСТАЛИКА ЧЕЛОВЕКА

И. В. Черепанов

Новосибирский государственный университет

Катаракта – помутнение хрусталика, которое на молекулярном уровне обусловлено модификациями белков хрусталика – кристаллинов. Одним из возможных путей модифицирования кристаллинов является присоединение низкомолекулярных соединений кинуренинов, которые выполняют в хрусталике функцию УФ-фильтров. Эти соединения защищают сетчатку и сам хрусталик от фотоиндуцированных повреждений. Они делятся на первичные – кинуренина (Кп), 3-гидроксикинуренина (ЗОНКп), гликозида 3-гидроксикинуренина (ЗОНКГ), которые являются производными триптофана, и вторичные – аддукта кинуренина с глутатионом (Кп-GSH) и 4-(2-аминофенил)-оксобутановой кислоты (АНА), которые образуются из первичных в результате ферментативных реакций. С возрастом в хрусталиках млекопитающих наблюдается тенденция к снижению концентрации первичных УФ-фильтров, таким образом белки в стареющем хрусталике больше подвержены фотоповреждениям.

Задачей данной работы было определение квантового выхода триплетного состояния пяти УФ-фильтров, а так же определение их фотостабильности в условиях, близких к физиологическим.

Для выполнения эксперимента нами были синтезированы ЗОНКГ, Кп-GSH, АНА. Квантовый выход триплетного состояния всех соединений определялся с помощью установки лазерного импульсного фотолиза. Квантовый выход фоторазложения определялся в анаэробных условиях, с последующей детекцией с помощью ВЭЖХ.

В результате данной работы было выявлено, что наиболее фотохимически стабильными являются первичные УФ-фильтры: Кп, ЗОНКп, ЗОНКГ, а вторичные фильтры обладают большими квантовым выходом фоторазложения и квантовым выходом формирования триплетного состояния. Поэтому уменьшение доли первичных УФ-фильтров и увеличение доли вторичных УФ-фильтров с возрастом приводит к увеличению восприимчивости человеческого глаза к УФ-излучению.

Работа выполнена при поддержке: госконтрактов 14.740.11.0758, 02.740.11.0262 и П708, гранта президента РФ № 7643.2010.3, отделение химии и наук о материалах РАН, и правительства г. Москвы (Программа «Новые методы и технологии в ранней диагностике и лечении онкологических и других опасных заболеваний»).

Научный руководитель – Ю. П. Центалович.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Gusachenko I.	77	Батаргалиева А. Т.	97
Latour G.	77	Бацанов С. А.	200
Mamelkina M. A.	176	Беленькая И. В.	292
Mirkamalov M. M.	320	Беликов Е. В.	269
Mirtoshev Z. D.	261	Белкин М. С.	144
Mustafaev A. S.	176	Бергер И. Ф.	350
Schanne-Klein M.-C.	77	Березицкая Е. П.	293
Sidorova K. I.	176	Бессуднова Е. В.	83
Абдукадиров Б. З.	329	Бобенко Н. Г.	308
Абрамкин Д. С.	192	Бобрицкая Е. И.	295
Авдеева А. Ю.	287	Бокк Д. Н.	100
Агажанов А. Ш.	19	Болдов И. А.	101
Агеенко Н. С.	138	Бондаренко Т. А.	21
Азаров И. А.	194, 288	Бондик П. Н.	296, 327
Акрестина А. С.	235	Борисенко А. А.	113
Аксёнов А. Н.	288	Борисов С. П.	22
Аксенов М. С.	195, 207	Борисова Т. А.	343
Актёршев Ю. С.	141	Боровкова О. В.	356
Александрова В. М.	289	Бороданов С. Д.	169
Александрова Г. А.	293	Бороденко А. А.	253
Александровский А. С.	129	Бражников Д. В.	115
Алексеев А. А.	290	Брусенцов Н. А.	95
Аллярова З. К.	196	Бугаев К. О.	297
Альгаер Ю. А.	351	Будённый С. А.	192
Амангельды Н.	251	Будкина Д. С.	353
Амонов К. А.	197	Букина О. С.	170
Андреев А. С.	352	Булушев Е. Д.	4
Андреева А. П.	142	Бунтин Д. А.	67
Андрианов А. В.	252	Бурков М. В.	298
Аникеева О. Б.	169, 174	Бутусова Е. Н.	299
Анискина Л. Б.	97	Бухал Н. Д.	145
Анохина Е. С.	20	Бушманова А. А.	201
Антонова О. В.	303	Бушмелёв Е. Ю.	73
Аракчеев А. С.	3	Быков Е. В.	148
Аргунова Н. И.	291	Бяков А. В.	298
Астафьев М. А.	143	Вагин М. С.	300
Асташова Т. А.	71	Вайтузин О. П.	293
Ахметзянов Д. А.	198	Валиулин С. В.	364
Бабин С. А.	99	Ванина П. Ю.	301
Бакланов А. С.	72	Васильев Н. В.	5
Бакулин А. В.	199	Васильева Л. С.	254

Васильева М. А.....	244	Горковенко А. И.....	107
Ватник И. Д.....	102	Горн Д. И.	208
Вахрушев Р. В.....	146	Горохов Е. Б.	288
Вашенко П. В.....	103	Горюнова А. В.....	356
Ветошко П. М.....	95	Грабовский А. Ю.	177, 178
Вештемов А. П.	302	Гревцов К. А.....	258
Вилисов А. А.	214, 244, 247	Гренев И. В.....	305
Винокуров А. П.	23	Гривин В. П.	353
Винокурова Т. А.	24	Гринберг Б. А.	303
Вишняков О. И.	25	Губанов Д. А.....	28
Власенко Е. А.	270	Гудимова Е. Ю.	330
Власов А. Ю.	255	Гудков Б. А.	148
Власова А. М.	303	Гутаковский А. К. ...	200, 249, 326
Военнов Д. Л.....	147	Дашина А. Ю.....	357
Вожаков И. С.	26	Демин И. Е.....	209
Войцеховский А. В.	208	Демьяненко А. М.	29
Волков В. А.	27	Дербенёв А. А.	9
Волочаев М. Н.	170	Дмитренко А. Г.	108
Воробьев В. С.	256	Долгопятова О. А.....	30
Воробьева Д. Б.....	6	Донцова Е. И.	109
Воронин В. И.	350	Достовалов А. В.	99
Воронова А. С.....	7	Дохтуров В. В.....	244
Воропаев М. В.	202	Дубков И. С.	306
Вьюнышев А. М.	104	Дудникова В. Б.....	198
Гагаркина Г. С.	74	Дюсупова Г. М.	307, 323
Гаипов Б. Ш.	203, 204	Европейцев Е. А.	215
Гайнутдинов Р. Х.	106, 304	Евсеева Д. А.	124
Галкина Т. А.	205	Евстигнеев Д. С.....	211
Гамбарян В. В.....	257	Егоров А. Г.	358
Гарифуллин М. О.	206	Егорушкин В. Е.....	308
Гасанов З. Д.	345, 346	Елумеева К. В.....	169
Гаязов С. Е.	271	Емельянов А. И.	309
Гелаш А. А.	75	Еремеев С. В.....	199
Гладких П. В.....	357	Ермолаев Ю. Г.....	38
Глущенко О. Ю.	76	Ерофеев Е. В.....	359
Голицын А. А.	272	Жанузак Ж. Б.....	329
Головин Р. А.....	273	Жариков Е. В.	198
Гольцварт Е. П.....	108	Жарков Е. А.	310
Голяшов В. А.	195, 207	Жармухамбетова А. М.....	311
Гонтаренко А. С.	340	Жданов А. В.	31
Гончкжапов М. Б.....	354, 355	Жданов Е. Ю.	212
Гордеев А. В.	8	Жиров Е. В.....	312
Горев В. Н.	65	Завьялов А. П.	313

Задорожный П. Ю.	78	Каршиев А. Б.	216
Зазулин Д. М.	251	Катасонов М. М.	49
Зайцева А. В.	362	Квасов А. А.	361
Зайцева Е. В.	106	Квеглис Л. И.	171
Зайцева Н. А.	79	Кириков Н. А.	217
Закомирный В. И.	345	Кириловский С. В.	40
Залютудинов В. А.	32	Киселев Р. Е.	41
Замчий А. О.	33	Кислер Д. В.	181, 185
Заневский А. К.	110	Кисляков М. А.	150
Заринг К. А.	111	Кислякова А. В.	150
Зверев Д. А.	148	Китушин Г. Г.	151
Зеленина А. А.	213	Киямов М. Ю.	363
Зеликман М. В.	360	Климова Ю. А.	81
Злобина Е. А.	112	Кнуренко С. П.	254
Зобов К. В.	34	Ковальчук К. В.	219
Зорин А. В.	274	Коверзнев М. П.	42
Зубков М. А.	80	Кожокарь М. Ю.	362
Зубрилов Г. Ю.	307	Кожухов А. С.	220
Зуев П. В.	113	Козлов Е. Г.	10
Иваненко А. А.	348	Козлов Н. Е.	276
Иванов В. Л.	259	Козлова С. М.	117
Иванов М. А.	303	Козлова Т. В.	221
Иванов М. С.	114	Козулин А. А.	296, 311, 316, 327, 334
Ивко М. В.	275	Коломеец А. В.	353
Игнатенко Я. С.	35	Колосов Г. Л.	43
Игошкин А. М.	314	Колчанов Б. А.	315
Ижнин И. И.	208	Кольчевская И. В.	322
Иконников А. А.	104	Комаровских А. Ю.	364
Ильенков Р. Я.	115	Кондрашова Т. Н.	111
Ильясова А. Ж.	251	Коновалов А. А.	198
Имансакипов Р. М.	179	Конохова А. И.	82
Иргалин Т. Н.	116	Константинов Е. В.	226
Исаенков С. В.	36	Корнеев Д. В.	83
Кабанова Л. А.	235	Коробейников И. В.	350
Кадыров Р. А.	149	Коробенков М. В.	311, 316, 334
Казанин И. В.	37	Корсаков А. А.	152
Казанцев Р. И.	38	Котков Д. Н.	299
Казанцева В. В.	173	Коханенко А. П.	222
Казимиров А. И.	359	Кравец С. А.	153
Калугин К. С.	214	Кругликов Н. А.	303
Канилова А. С.	39	Кузнецов А. П.	277
Карзанова М. В.	215	Кузнецов В. Л.	169, 174
Карпов И. Е.	180		

Кузнецов П. В.	337	Мжельский И. В.	319
Кузнецов С. Н.	118	Мисерев Д. С.	228
Кузнецова М. Е.	44	Михаэлис М. В.	48
Кузьмин А. И.	278	Монахова М. В.	124
Кульков С. С.	316	Морозов С. О.	47
Кулькова С. Е.	199	Морозова Н. В.	175
Кундасев С. Г.	45	Мосеенков С. И.	169
Курилко С. С.	119	Москалёв А. С.	368
Куркина И. И.	317	Москаленский А. Е.	87
Ламонова С. А.	111	Москвина Е. Н.	321, 322
Лаптев А. В.	130	Мотырев П. А.	49
Лепнер Э. Ю.	279	Мощенко С. П.	123
Лещенко В. Е.	120	Мурасев А. А.	262
Лимаев К. М.	172	Мустафаев А. С.	177, 178, 188
Лисовский А. В.	121	Мухаметхан Г. Б.	307, 323
Литвинов И. В.	46, 60	Мухин Е. А.	11
Лобач И. А.	122	Мухтубаев А. Б.	114
Ложкин В. А.	280	Мухышбаева А.	329
Лозовой К. А.	222	Нагирный Н. В.	182
Лопатин Ю. В.	350	Надежкин М. В.	324
Лосинская А. А.	340	Назаров А. В.	50
Лохов А. Ю.	260	Насибулов Е. А.	369
Лукашевич С. В.	47, 67	Наумкин Н. С.	348
Лысков И. С.	365	Небогатикова Н. А.	229
Любутин П. С.	298	Неговорова В. А.	84
Лямкина А. А.	123	Нейман А. А.	325
Лямкина А. А.	223, 366	Неклюдова М. А.	326
Мазов И. Н.	174	Некрасов В. М.	87
Макаренко С. В.	224	Некрасова В. С.	327
Макеев А. В.	281	Никитин М. П.	95
Максютов Р. А.	367	Никитин П. И.	95
Маншуоров Ш. Т.	225	Николаев Н. А.	125
Манько К. В.	154	Никулин В. В.	328
Марин Д. В.	288	Никушин А. В.	155
Маркин А. О.	114	Нищенко А. М.	370
Марьева Е. А.	318	Новиков И. А.	12
Матвеев Д. Ю.	226	Новикова К. О.	345, 346
Матхонова Э. Ю.	227	Носков Ф. М.	323
Матюха В. А.	282	Нохрин А. В.	299
Мауей Б.	251	Нутчина-Пестрякова Н. В.	32
Мегис Е. К.	283	Нышанбаева И. Н.	329
Мезенцев В. К.	99	Обухов С. В.	230
Мельникова Н. В.	308	Овсянников С. В.	175

Огнев А. Ю.	289	Пономарев А. Н.	183, 308
Ожгибесов Д. С.	51	Попугаева В. В.	235
Ольджебаев М. А.	121	Поспелов Г. И.	104
Орешонок В. В.	156	Посысаев С. С.	88
Осинных И. В.	232	Потапова В. Д.	161
Остапенко М. Г.	330	Похабов Д. А.	236
Павленко А. В.	157	Правдивцев А. Н.	372
Павленко А. М.	52	Прозорова Г. Ф.	309
Павлова А. А.	158	Прохоров И. А.	185
Пак А. Ю.	37	Прошенко В. С.	162
Палий В. Л.	39	Прудников В. В.	183
Панин В. В.	183	Путилов М. А.	163
Паничкин Ю. В.	171	Расулов А. Х.	237
Панченко А. В.	332	Расчектаева Е. П.	55
Папуловский Е. С.	333	Рафейчик С. И.	56
Парханюк А. Н.	126	Рахимова М. С.	173
Пархоменко Д. А.	371	Рахмонов У. Х.	238
Паршин А. С.	293	Рекунова Н. Н.	110
Пасько Е. Г.	334	Рогило Д. И.	239
Патрушева Т. Н.	129, 243	Родионцев А. М.	131
Пекарских Е. А.	113	Романенко А. И.	169, 174
Пелипасов О. В.	184	Руденко А. С.	263
Первов Д. В.	53	Рыжененков А. Е.	264
Перин А. С.	117, 127	Рябченко В. Ю.	114
Петракова И. В.	337	Сабина И. В.	326
Петрова Т. О.	233	Саввинов С. А.	317
Петровский Е. Д.	85	Савина З. С.	68
Пильник А. А.	54	Садовский А. С.	89
Пирогов К. А.	159	Сазонов Б. А.	13
Писарева Н. Н.	335	Салахов М. Х.	304
Платонова А. С.	68	Самейцева Т. С.	340
Плешаков Н. Е.	71	Санарова О. Г.	337
Плотникова Н. М.	86	Сараев А. А.	338
Плюснин В. Ф.	353	Свит К. А.	240
Пляшкевич В. А.	306	Сейфи Н. А.	164
Подорожняк С. А.	234	Селютин А. Г.	373
Поздняков А. С.	309	Семенов А. А.	57
Полетаев А. С.	160	Семкин А. О.	121
Политко М. О.	128	Семченко В. В.	171
Полковников А. М.	133	Сенченко А. И.	284
Польщичин А. А.	87	Сербин И. Л.	241
Полюшкевич А. В.	129	Серебрякова М. А.	58
Поляков К. В.	130	Симонов В. А.	132

Ситник К. А.	325	Толкачев С. Н.	65
Ситников С. В.	242	Томилин В. А.	134
Скиба А. И.	59	Тотосов И. В.	174
Скляр В. Ф.	186	Трушина А. П.	377
Скрипкин С. Г.	60	Турапин А. М.	222, 246
Скрипняк В. В.	311, 316, 334	Тюменев Р. Э.	135
Скрипняк Н. В.	327	Тютюкин К. В.	80
Смирнова Т. А.	344	Уницын А. С.	341
Смычков С. А.	111	Устинов В. И.	234
Снежко Н. Ю.	243	Утениязов А. К.	248
Соколов А. В.	14	Филатова Н. С.	342
Солдаткин В. С.	244, 247	Филимонов В. А.	66
Соловьёв Т. М.	339	Филиппов А. А.	343
Старикова И. В.	374	Филлимонов В. А.	63
Старинский С. В.	61	Фомин В. М.	343
Стельмах В. Г.	237, 245	Фролов В. В.	94
Степанова Н. В.	340	Фролов С. А.	136
Степанова Т. Н.	15	Хайрулин С. С.	92
Стертюков С. В.	90	Халикулова С. Ф.	111
Стрельников Н. О.	165	Хало И. В.	93
Строев И. М.	324	Хамадеев М. А.	106, 304
Стюф А. С.	166	Харьков Я. А.	267
Султангареев Р. Г.	309	Хван Е. Б.	17
Сурин И. К.	258	Хотненко Ю. А.	202
Суслов С. Ю.	187	Хохлов Р. О.	187
Сутормин О. С.	91	Ципилёв В. П.	361
Сутурина Е. А.	375	Цыганов А. Б.	188
Сухоярский М. А.	296	Чеблаков П. Б.	285
Сырямина В. Н.	376	Черепанов И. В.	378
Сюняков С. А.	62	Чернов Г. А.	286
Тажибаева Г. Б.	173	Чимытов Т. А.	67
Тайченачев А. В.	115	Чирков Д. Ю.	344
Тараканова М. В.	63	Числов Б. А.	167
Тараненко В. С.	265	Чопорова Ю. Ю.	116
Тарасов А. Д.	133	Чубаков В. П.	137
Тарасов В. Ф.	198	Чувильдеев В. Н.	299
Татарников Д. А.	16	Чукин В. В.	68
Темербаев А. А.	251	Чумаченко А. Ю.	340
Тепляков К. В.	244, 247	Шадринов Н. В.	339
Терещенко О. Е.	199	Шалаев М. И.	138
Тизилев А. С.	358	Шалимова А. С.	345, 346
Тимофеев А. А.	266	Шамшураин А. В.	139
Тимошевский М. В.	64		

Шарифулин К. О.	347	Щенников В. В.	175, 350
Шатский Е. Н.	69	Щербанев С. А.	249
Швецова М. А.	350	Щербина В. В.	111
Шемякин Д. Н.	264	Эшбеков Н. У.	251
Шестаков А. Б.	348	Юдин В. И.	115
Шестаков И. А.	189	Юрьев М. В.	95
Шестаков Н. П.	348	Ягодницына А. А.	18
Шиплюк А. Н.	67	Якищенко М. В.	168
Шмаков А. С.	35	Яковлев Д. В.	191
Штарклев Е. А.	268	Якушенко А. А.	324
Шубин Д. Ю.	41	Якушин С. С.	250
Шубин С. А.	94	Якшина Е. А.	140
Шугаев М. В.	70	Ярош Э. М.	219
Щёкин И. В.	190	Яцкий А. В.	222

ОГЛАВЛЕНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАШИННАЯ ГРАФИКА	3
А. С. Аракчеев	3
Е. Д. Булушев.....	4
Н. В. Васильев	5
Д. Б. Воробьева.....	6
А. С. Воронова.....	7
А. В. Гордеев	8
А. А. Дербенёв.....	9
Е. Г. Козлов.....	10
Е. А. Мухин.....	11
И. А. Новиков	12
Б. А. Сазонов.....	13
А. В. Соколов.....	14
Т. Н. Степанова.....	15
Д. А. Татарников	16
Е. Б. Хван	17
А. А. Ягодницына.....	18
АЭРОФИЗИКА И НЕРАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ	19
А. Ш. Агажанов	19
Е. С. Анохина.....	20
Т. А. Бондаренко	21
С. П. Борисов	22
А. П. Винокуров	23
Т. А. Винокурова.....	24
О. И. Вишняков	25
И. С. Вожаков	26
В. А. Волков.....	27
Д. А. Губанов	28
А. М. Демьяненко.....	29
О. А. Долгопятова	30
А. В. Жданов.....	31
В. А. Залялутдинов, Н. В. Нутчина-Пестрякова.....	32
А. О. Замчий	33
К. В. Зобов	34
Я. С. Игнатенко, А. С. Шмаков.....	35
С. В. Исаенков	36
И. В. Казанин, А. Ю. Пак.....	37
Р. И. Казанцев, Ю. Г. Ермолаев	38

А. С. Канилова, В. Л. Палий.....	39
С. В. Кириловский.....	40
Р. Е. Киселев, Д. Ю. Шубин	41
М. П. Коверзнев.....	42
Г. Л. Колосов	43
М. Е. Кузнецова.....	44
С. Г. Кундасев.....	45
И. В. Литвинов.....	46
С. В. Лукашевич, С. О. Морозов.....	47
М. В. Михаэлис	48
П. А. Мотырев, М. М. Катасонов.....	49
А. В. Назаров	50
Д. С. Ожгибесов	51
А. М. Павленко.....	52
Д. В. Первов.....	53
А. А. Пильник.....	54
Е. П. Расчектаева.....	55
С. И. Рафейчик.....	56
А. А. Семенов	57
М. А. Серебрякова.....	58
А. И. Скиба	59
С. Г. Скрипкин, И. В. Литвинов.....	60
С. В. Старинский	61
С. А. Сюняков.....	62
М. В. Тараканова, В. А. Филлимонов.....	63
М. В. Тимошевский.....	64
С. Н. Толкачев, В. Н. Горев.....	65
В. А. Филимонов	66
Т. А. Чимытов, Д. А. Бунтин, С. В. Лукашевич, А. Н. Шиплюк.....	67
В. В. Чукин, А. С. Платонова, З. С. Савина	68
Е. Н. Шатский.....	69
М. В. Шугаев	70
БИОЛОГИЧЕСКАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА	71
Т. А. Асташова, Н. Е. Плешаков	71
А. С. Бакланов	72
Е. Ю. Бушмелёв.....	73
Г. С. Гагаркина	74
А. А. Гелаш	75
О. Ю. Глущенко.....	76
I. Gusachenko, G. Latour, M.-C. Schanne-Klein	77
П. Ю. Задорожный	78
Н. А. Зайцева	79
М. А. Зубков, К. В. Тютюкин.....	80

Ю. А. Климова.....	81
А. И. Конохова.....	82
Д. В. Корнеев, Е. В. Бессуднова.....	83
В. А. Неговорова.....	84
Е. Д. Петровский.....	85
Н. М. Плотникова.....	86
А. А. Польщицин, А. Е. Москаленский, В. М. Некрасов.....	87
С. С. Посысаев.....	88
А. С. Садовский.....	89
С. В. Стертюков.....	90
О. С. Сутормин.....	91
С. С. Хайрулин.....	92
И. В. Хало.....	93
С. А. Шубин, В. В. Фролов.....	94
М. В. Юрьев, М. П. Никитин, Н. А. Брусенцов, П. М. Ветошко, П. И. Никитин.....	95
КВАНТОВАЯ ОПТИКА.....	97
Л. Б. Анискина, А. Т. Батаргалиева.....	97
С. А. Бабин, А. В. Достовалов, В. К. Мезенцев.....	99
Д. Н. Бокк.....	100
И. А. Болдов.....	101
И. Д. Ватник.....	102
П. В. Ващенко.....	103
А. М. Вьюнышев, А. А. Иконников, Г. И. Поспелов.....	104
Р. Х. Гайнутдинов, Е. В. Зайцева, М. А. Хамадеев.....	106
А. И. Горковенко.....	107
А. Г. Дмитренко, Е. П. Гольцварт.....	108
Е. И. Донцова.....	109
А. К. Заневский, Н. Н. Рекунова.....	110
К. А. Заринг, Т. Н. Кондрашова, С. А. Ламонова, С. А. Смычков, В. В. Щербина, С. Ф. Халикулова.....	111
Е. А. Злобина.....	112
П. В. Зуев, Е. А. Пекарских, А. А. Борисенко.....	113
М. С. Иванов, А. О. Маркин, А. Б. Мухтубаев, В. Ю. Рябченок.....	114
Р. Я. Ильенков, Д. В. Бражников, А. В. Тайченачев, В. И. Юдин.....	115
Т. Н. Иргалин, Ю. Ю. Чопорова.....	116
С. М. Козлова, А. С. Перин.....	117
С. Н. Кузнецов.....	118
С. С. Курилко.....	119
В. Е. Лещенко.....	120
А. В. Лисовский, М. А. Ольджебаев, А. О. Семкин.....	121
И. А. Лобач.....	122
А. А. Лямкина, С. П. Мощенко.....	123

М. В. Монахова, Д. А. Евсеева.....	124
Н. А. Николаев.....	125
А. Н. Парханюк.....	126
А. С. Перин.....	127
М. О. Политко.....	128
А. В. Полюшкевич, А. С. Александровский, Т. Н. Патрушева.....	129
К. В. Поляков, А. В. Лаптев.....	130
А. М. Родионцев.....	131
В. А. Симонов.....	132
А. Д. Тарасов, А. М. Полковников.....	133
В. А. Томилин.....	134
Р. Э. Тюменев.....	135
С. А. Фролов.....	136
В. П. Чубаков.....	137
М. И. Шалаев, Н. С. Агеенко.....	138
А. В. Шамшурун.....	139
Е. А. Якшина.....	140
РАДИОФИЗИКА.....	141
Ю. С. Актёршев.....	141
А. П. Андреева.....	142
М. А. Астафьев.....	143
М. С. Белкин.....	144
Н. Д. Бухал.....	145
Р. В. Вахрушев.....	146
Д. Л. Военнов.....	147
Д. А. Зверев, Б. А. Гудков, Е. В. Быков.....	148
Р. А. Кадыров.....	149
М. А. Кисляков, А. В. Кислякова.....	150
Г. Г. Китушин.....	151
А. А. Корсаков.....	152
С. А. Кравец.....	153
К. В. Манько.....	154
А. В. Никушин.....	155
В. В. Орешонок.....	156
А. В. Павленко.....	157
А. А. Павлова.....	158
К. А. Пирогов.....	159
А. С. Полетаев.....	160
В. Д. Потапова.....	161
В. С. Проценко.....	162
М. А. Путилов.....	163
Н. А. Сейфи.....	164
Н. О. Стрельников.....	165

А. С. Стюф	166
Б. А. Числов	167
М. В. Якищенко	168
ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР, ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И МАГНЕТИЗМА	169
С. Д. Бороданов, А. И. Романенко, О. Б. Анিকেева, В. Л. Кузнецов, К. В. Елумеева, С. И. Мосеенков	169
М. Н. Волочаев, О. С. Букина	170
Л. И. Квеглис, Ю. В. Паничкин, В. В. Семченко	171
К. М. Лимаев	172
М. С. Рахимова, В. В. Казанцева, Г. Б. Тажибаева	173
И. В. Тотосов, А. И. Романенко, О. Б. Анিকেева, В. Л. Кузнецов, И. Н. Мазов	174
В. В. Щенников, Н. В. Морозова, С. В. Овсянников	175
ФИЗИКА ПЛАЗМЫ	176
К. I. Sidorova, M. A. Mamelkina, A. S. Mustafaev	176
А. Ю. Грабовский, А. С. Мустафаев	177
А. Ю. Грабовский, А. С. Мустафаев	178
Р. М. Имансакипов	179
И. Е. Карпов	180
Д. В. Кислер	181
Н. В. Нагирный	182
В. В. Панин, А. Н. Пономарев, В. В. Прудников	183
О. В. Пелипасов	184
И. А. Прохоров, Д. В. Кислер	185
В. Ф. Складов	186
Р. О. Хохлов, С. Ю. Суслов	187
А. Б. Цыганов, А. С. Мустафаев	188
И. А. Шестаков	189
И. В. Щёкин	190
Д. В. Яковлев	191
ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ	192
Д. С. Абрамкин, С. А. Будённый	192
И. А. Азаров	194
М. С. Аксенов, В. А. Голяшов	195
З. К. Аллаярова	196
К. А. Амонов	197
Д. А. Ахметзянов, В. Б. Дудникова, Е. В. Жариков, А. А. Коновалов, В. Ф. Тарасов	198
А. В. Бакулин, С. В. Еремеев, О. Е. Терещенко, С. Е. Кулькова	199
С. А. Бацанов, А. К. Гутаковский	200
А. А. Бушманова	201
М. В. Воропаев, Ю. А. Хотненко	202

Б. Ш. Гаипов	203
Б. Ш. Гаипов	204
Т. А. Галкина	205
М. О. Гарифуллин	206
В. А. Голяшов, М. С. Аксенов.....	207
Д. И. Горн, А. В. Войцеховский, И. И. Ижнин	208
И. Е. Демин	209
Д. С. Евстигнеев	211
Е. Ю. Жданов.....	212
А. А. Зеленина	213
К. С. Калугин, А. А. Вилисов	214
М. В. Карзанова, Е. А. Европейцев.....	215
А. Б. Каршиев	216
Н. А. Кириков	217
К. В. Ковальчук, Э. М. Ярош.....	219
А. С. Кожухов.....	220
Т. В. Козлова.....	221
К. А. Лозовой, А. М. Турапин, А. В. Яцкий, А.П. Коханенко.....	222
А. А. Лямкина.....	223
С. В. Макаренко.....	224
Ш. Т. Маншуров.....	225
Д. Ю. Матвеев, Е. В. Константинов.....	226
Э. Ю. Матхонова	227
Д. С. Мисерев	228
Н. А. Небогатикова	229
С. В. Обухов, В. Г. Тютерев	230
И. В. Осинных	232
Т. О. Петрова	233
С. А. Подорожняк, В. И. Устинов	234
В. В. Попугаева, А. С. Акрестина, Л. А. Кабанова.....	235
Д. А. Похабов.....	236
А. Х. Расулов, В. Г. Стельмах	237
У. Х. Рахмонов	238
Д. И. Рогило	239
К. А. Свит.....	240
И. Л. Сербин	241
С. В. Ситников.....	242
Н. Ю. Снежко, Т. Н. Патрушева	243
В. С. Солдаткин, А. А. Вилисов, М. А. Васильева,	
В. В. Дохтуров, К. В. Тепляков.....	244
В. Г. Стельмах	245
А. М. Турапин,.....	246
К. В. Тепляков; А. А. Вилисов, В. С. Солдаткин.....	247

А. К. Утениязов	248
С. А. Щербанев, А. К. Гутаковский	249
С. С. Якушин	250
ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ.....	251
Н. Амангельды, Д. М. Зазулин, А. А. Темербаев, Б. Мауей, А. Ж. Ильясова, Н. У. Эшбеков.....	251
А. В. Андрианов	252
А. А. Бороденко	253
Л. С. Васильева, С. П. Кнуренко	254
А. Ю. Власов.....	255
В. С. Воробьев	256
В. В. Гамбарян	257
К. А. Гревцов, И. К. Сурин	258
В. Л. Иванов.....	259
А. Ю. Лохов	260
Z. D. Mirtoshev	261
А. А. Мурасев	262
А. С. Руденко	263
А. Е. Рыжененков, Д. Н. Шемякин	264
В. С. Тараненко	265
А. А. Тимофеев.....	266
Я. А. Харьков	267
Е. А. Штарклев	268
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА.....	269
Е. В. Беликов.....	269
Е. А. Власенко	270
С. Е. Гаязов	271
А. А. Голицын.....	272
Р. А. Головин	273
А. В. Зорин.....	274
М. В. Ивко	275
Н. Е. Козлов	276
А. П. Кузнецов.....	277
А. И. Кузьмин	278
Э. Ю. Лепнер	279
В. А. Ложкин	280
А. В. Макеев	281
В. А. Матюха	282
Е. К. Мегис.....	283
А. И. Сенченко.....	284
П. Б. Чеблаков.....	285
Г. А. Чернов	286

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ287

А. Ю. Авдеева.....	287
А. Н. Аксёнов, И. А. Азаров, Д. В. Марин, Е. Б. Горохов	288
В. М. Александрова, А. Ю. Огнев	289
А. А. Алексеев	290
Н. И. Аргунова.....	291
И. В. Беленькая.....	292
Е. П. Березицкая, А. С. Паршин, Г. А. Александрова, О. П. Вайтузин ..	293
Е. И. Бобрицкая	295
П. Н. Бондик, А. А. Козулин, М. А. Сухоярский.....	296
К. О. Бугаев.....	297
М. В. Бурков, П. С. Любутин, А. В. Бяков	298
Е. Н. Бутусова, Д. Н. Котков, А. В. Нохрин, В. Н. Чувильдеев.....	299
М. С. Вагин	300
П. Ю. Ванина	301
А. П. Вештемов.....	302
А. М. Власова, Б. А. Гринберг, М. А. Иванов, Н. А. Кругликов, О. В. Антонова.....	303
Р. Х. Гайнутдинов, М. Х. Салахов, М. А. Хамадеев	304
И. В. Гренев	305
И. С. Дубков, В. А. Пляшкевич.....	306
Г. М. Дюсупова, Г. Б. Мухаметхан, Г. Ю. Зубрилов.....	307
В. Е. Егорушкин, Н. В. Мельникова, А. Н. Пономарев, Н. Г. Бобенко ..	308
А. И. Емельянов, А. С. Поздняков, Р. Г. Султангареев, Г. Ф. Прозорова.....	309
Е. А. Жарков	310
А. М. Жармухамбетова, М. В. Коробенков, А. А. Козулин, В. В. Скрипняк.....	311
Е. В. Жиров.....	312
А. П. Завьялов.....	313
А. М. Игошкин	314
Б. А. Колчанов	315
М. В. Коробенков, С. С. Кульков, А. А. Козулин, В. В. Скрипняк	316
И. И. Куркина, С. А. Саввинов.....	317
Е. А. Марьева.....	318
И. В. Мжельский	319
М. М. Mirkamalov	320
Е. Н. Москвина	321
Е. Н. Москвина, И. В. Кольчевская	322
Г. Б. Мухаметхан, Г. М. Дюсупова, Ф. М. Носков	323
М. В. Надежкин, А. А. Якушенко, И. М. Строев.....	324
А. А. Нейман, К. А. Ситник.....	325

М. А. Неклюдова, А. К. Гутаковский, И. В. Сабина	326
В. С. Некрасова, Н. В. Скрипняк, П. Н. Бондик, А. А. Козулин	327
В. В. Никулин	328
И. Н. Нышанбаева, Ж. Б. Жанузак, Б. З. Абдукадиров, А. Мухышбаева	329
М. Г. Остапенко, Е. Ю. Гудимова	330
А. В. Панченко	332
Е. С. Папуловский	333
Е. Г. Пасько, В. В. Скрипняк, М. В. Коробенков, А. А. Козулин	334
Н. Н. Писарева	335
О. Г. Санарова, П. В. Кузнецов, И. В. Петракова	337
А. А. Сараев	338
Т. М. Соловьёв, Н. В. Шадрин	339
Н. В. Степанова, А. Ю. Чумаченко, Т. С. Самейшева, А. А. Лосинская, А. С. Гонтаренко	340
А. С. Уницын	341
Н. С. Филатова	342
А. А. Филиппов, Т. А. Борисова, В. М. Фомин	343
Д. Ю. Чирков, Т. А. Смирнова	344
А. С. Шалимова, В. И. Закомирный, З. Д. Гасанов, К. О. Новикова	345
А. С. Шалимова, З. Д. Гасанов, К. О. Новикова	346
К. О. Шарифулин	347
А. Б. Шестаков, Н. С. Наумкин, Н. П. Шестаков, А. А. Иваненко	348
В. В. Щенников, В. И. Воронин, И. Ф. Бергер, Ю. В. Лопатин, И. В. Коробейников, М. А. Швецова	350
ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА	351
Ю. А. Альгаер	351
А. С. Андреев	352
Д. С. Будкина, В. Ф. Плюснин, А. В. Коломеец, В. П. Гривин	353
М. Б. Гончикжапов	354
М. Б. Гончикжапов	355
А. В. Горюнова, О. В. Боровкова	356
А. Ю. Дашина, П. В. Гладких	357
А. Г. Егоров, А. С. Тизилов	358
Е. В. Ерофеев, А. И. Казимиров	359
М. В. Зеликман	360
А. А. Квасов, В. П. Ципилёв	361
М. Ю. Кожокар, А. В. Зайцева	362
М. Ю. Киямов	363
А. Ю. Комаровских, С. В. Валиулин	364
И. С. Лысков	365
А. А. Лямкина	366
Р. А. Максюттов	367

А. С. Москалёв.....	368
Е. А. Насибулов.....	369
А. М. Нищенко.....	370
Д. А. Пархоменко.....	371
А. Н. Правдивцев.....	372
А. Г. Селютин.....	373
И. В. Старикова.....	374
Е. А. Сутурина.....	375
В. Н. Сырямина.....	376
А. П. Трушина.....	377
И. В. Черепанов.....	378

МАТЕРИАЛЫ
XLIX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ
СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«Студент и научно-технический прогресс»

ФИЗИКА

Тезисы докладов печатаются в авторской редакции

Дизайн обложки – И. И. Коптюг

Подписано в печать 30.03.11

Офсетная печать

Заказ №

Формат 60x84/16

Уч.-изд. л. 20,1. Усл.-печ. л. 24,8

Тираж 420 экз.

Редакционно-издательский центр НГУ
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2