

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
АДМИНИСТРАЦИЯ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ
КОМИССИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ЮНЕСКО
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**МАТЕРИАЛЫ
XLVI МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

«Студент и научно-технический прогресс»

27–30 апреля 2008 г.

**Новосибирск
2008**

УДК 55
ББК Д.я 431

Материалы XLVI Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Физика / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2008. 259 с.

Конференция проводится при поддержке Президиума Сибирского отделения Российской Академии наук, Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 08-04-06050-г), Администрации Новосибирской области, Комиссии РФ по делам ЮНЕСКО.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Председатель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. В. Аржанников
Заместитель председателя – канд. физ.-мат. наук, доцент А. Е. Зарвин

Члены бюро секции – чл.-корр. РАН, проф. А. М. Шалагин,
д-р физ.-мат. наук, проф. Л. А. Боярский,
д-р физ.-мат. наук, проф. К. В. Лотов,
д-р физ.-мат. наук, проф. В. Л. Альперович,
д-р техн. наук, проф. В. М. Аульченко,
д-р физ.-мат. наук, доцент С. В. Цыбуля,
канд. физ.-мат. наук А. Ф. Бузулуцков, доцент Е. В. Козырев.

© Новосибирский государственный
университет, 2008

РАДИОФИЗИКА

ВЛИЯНИЕ КОНТИНУАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА НА ДИСПЕРСИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛНОВЕДУЩИХ СТРУКТУР

Ю. Н. Бидненко

Томский государственный университет

Среды, электромагнитные свойства которых, в поперечном направлении меняются плавно на расстояниях порядка длины волны, принято называть градиентными или непрерывно-неоднородными. На практике градиент диэлектрической проницаемости может появиться как на стадии синтеза материала, так и во время его эксплуатации, что приведет к изменению дисперсионных и канализирующих свойств направляющей структуры. Таким образом, анализ взаимодействия электромагнитных волн с непрерывно-неоднородными средами является существенным этапом в процессе проектирования РЭА СВЧ и оптического диапазонов волн.

В работе рассматривается двухслойный экранированный волновод, в котором неоднородность диэлектрических свойств аппроксимируется, линейной функцией радиальной координаты. Анализ влияния коэффициентов аппроксимации на дисперсионные характеристики направляющей структуры был проведен для мод EH_{11} и HE_{11} . Результаты модельных экспериментов показали, что линейная неоднородность диэлектрической проницаемости не изменяет качественных особенностей распространения электромагнитных волновых процессов по сравнению с двухслойным, однородно заполненным волноводом. При соответствующем подборе параметров слоев, возможно существование комплексных волн, реализация одномодового и многомодового режимов.

Математическое моделирование основывалось на формальном (аналитическом) методе решения волновых уравнений [1], описывающих процессы распространения электромагнитных волн в безграничной, непрерывно-неоднородной в поперечном сечении, диэлектрической среде [2].

1.. Айнс Э.Л. Обыкновенные дифференциальные уравнения. – Харьков: ГНТИ Украина. – 1939. – С. 796.

2. Мещеряков В. А., Мудров А. Е., Редькин Г. А., Жуков А.А. // Физика радиоволн: Труды Всерос. Научн. Конф. Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2002. С. 113-16.

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИВОДА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

А.С. Воробьёв

Институт Ядерной Физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Сфера применения электродвигателей в производстве, на транспорте, в быту очень обширна и постоянно расширяется. По статистике более 60% вырабатываемой электроэнергии в мире потребляется электродвигателями[1]. Именно поэтому вопрос оптимального управления электродвигателями имеет большое значение на сегодняшний день. А собственно эффективность управления определяется эффективностью электропривода.

В представленной работе обсуждаются вопросы проектирования электропривода на базе микроконтроллера TMS320F2811 серии motor control фирмы Texas Instruments. Силовую часть электропривода представляют современные MOSFET транзисторы, которые позволяют получить высокий КПД привода и обеспечить высокую надёжность.

Итогом обсуждения является законченная электронная система, предназначенная для управления двухфазным асинхронным электродвигателем (векторное управление) [2], которую планируется установить взамен морально устаревшего электропривода на лазерный фотоплоттер РОМБ.

Основные характеристики электропривода:

1. Напряжение питания до 350 Вольт;
2. Рабочий ток 3 Ампера (с возможностью увеличения до 15 Ампер);
3. Интеллектуальная часть привода - сигнальный процессор TMS320F2811;
4. Возможность управления 2х, 3х фазными двигателями, двигателем постоянного тока;
5. ШИМ управление 50КГц;
6. Векторный алгоритм управления для асинхронных двигателей;
7. Интерфейс связи CAN, RS485.

1. Козаченко В.Ф. Основные тенденции развития встроенных систем управления двигателями и требования к микроконтроллерам. – Chip News, 1999, №1.

2. Field Oriented Control of 3-Phase AC-Motor. – LN: BPRA073, Texas Instruments, 1998.

Научный руководитель – В.В. Балакин

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЛИНИИ С ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ 100 МБИТ/СЕК

А. А. Выродов

Томский государственный университет

Для соединения территориально разнесенных сегментов компьютерных сетей широко используются оптические кабельные линии и микроволновые и беспроводные системы прямой видимости. Однако у каждой системы есть свои недостатки: оптические системы нуждаются в прокладке коммуникаций, а микроволновые диапазоны 2.4 ГГц, 5 ГГц и выше в крупных городах уже перегружены. Давно известна и используется альтернатива – цифровая радиолиния четырехмиллиметрового диапазона, востребованная для городских условий при небольших затратах

Целью данного проекта является обоснование возможности повышения энергетического потенциала цифровой радиолинии 4-мм диапазона. Его предлагается повысить за счет перехода от амплитудной модуляции к двухпозиционной фазовой модуляции. Энергетический выигрыш позволяет увеличить расстояние, на которое информация может быть передана. Недостатком фазовой манипуляции является неопределенность фазы при демодуляции, требующая применения методов фазоразностной модуляции и соответствующего усложнения схемы. Кодер и декодер на микросхемах стандартной логики с автоматической подстройкой тактовой частоты схемы не устраивают потенциального заказчика ввиду их высокой сложности. Вследствие этого было решено смоделировать простейшую схему преобразователя кода с использованием линии задержки и убедиться в ее принципиальной работоспособности

Моделирование будущей системы проведено на ЭВМ с использованием программы Electronic WB и показало возможность реализации схемы с минимальным количеством элементов. В дальнейшем это моделирование, претворит данные модели в схемные решения реального канала связи.

При благоприятном исходе работ планируется довести частоту модуляции с 10 до 125 Мбит/сек, что позволит существенно увеличить скорость передачи информации.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. Б. Антипов

КОНЦЕНТРАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КОМПОЗИЦИОННОЙ СМЕСИ НАНОПОРОШКА ФЕРРИТА Co_2Z – ЭПОКСИДНАЯ СМОЛА НА СВЧ

М.С. Гартен, О.А. Доценко
Томский государственный университет

Современная радиофизика и радиоэлектроника испытывает повышенную потребность в магнитных материалах, активно взаимодействующих с микроволновым излучением. В диапазоне до 50 ГГц наиболее перспективно использовать ферриты с гексагональной структурой, которые имеют высокие дисперсионные частоты и высокие значения магнитной проницаемости. В настоящее время в данном диапазоне широко применяются композиты на основе порошков гексаферритов и исследуются их свойства. В качестве связующих в таких композитах используются эпоксидные смолы, каучуки, жидкое стекло и другие материалы.

Целью данной работы является экспериментальное исследование магнитной проницаемости композитов на основе эпоксидной смолы и ферритовых нанопорошков гексаферрита Co_2Z .

Нанопорошки изготавливались дроблением исходного материала в высокоэнергетических мельницах. Образцы для измерения изготавливались путем смешивания эпоксидной смолы и нанопорошка в разных соотношениях (объемное содержание ферритового наполнителя- 7%, 9%, 11%, 18%, 25%). Из этих смесей (после высушивания) изготавливались образцы в форме параллелепипеда, длиной 1,5см, шириной 1см и толщиной 1мм.

Измерения магнитной проницаемости (ее действительной и мнимой части) полученных образцов производились резонаторным методом с помощью векторного анализатора цепей E8368B фирмы Agilent Technologies.

В качестве измерительной ячейки использовался нерегулярный микрополосковый резонатор с рабочей частотой 910 МГц. Полученные результаты показывают, что экспериментальные данные лучшим образом согласуются с формулой Оделевского для матричных структур. На основании этого можно заключить, что при выбранных концентрациях наполнителя композит представляет собой непрерывную матрицу эпоксидной смолы с вкраплениями частиц нанопорошка гексаферрита.

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

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА СПИРАЛЬНОЙ РАЗВЕРТКИ ПУЧКА ДЛЯ УСТАНОВКИ «БОР-НЕЙТРОН-ЗАХВАТНОЙ» ТЕРАПИИ

А. Б. Грошев

Новосибирский государственный университет
Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

В настоящее время в ИЯФ разрабатывается медицинская установка, использующая технологию «Бор-нейтрон-захватная терапия», целью которой является лечение раковых заболеваний путем бомбардировки раковых клеток нейтронами. Нейтроны, используемые в данной установке, образуются при бомбардировке мишени из определенного вещества ионами. Ионы должны заметать требуемую площадь мишени равномерно, поэтому было решено использовать спиралевидную форму развертки пучка. Для ее организации был разработан источник питания двух отклоняющих магнитов. Целью данной работы являлось создание источника тока, способного генерировать синусоидальные сигналы с амплитудой, меняющейся по определенному закону, для формирования спиралевидной траектории отклонения пучка.

При проектировании прибора были решены такие задачи как разработка цифрового контроллера источника питания, с написанием соответствующего программного обеспечения и созданием удобного интерфейса пользователя, которые позволяют управлять прибором при помощи ЭВМ или панели управления, находящейся на лицевой стороне прибора, и задавать произвольную форму выходного сигнала. Силовая часть прибора создана на основе генератора ШИМ, реализация системы обратной связи позволила достигнуть необходимой точности.

Данный прибор обладает следующими характеристиками: амплитуда тока в нагрузке до 40А, диапазон частот выходного сигнала от 100 до 1000Гц, величина выходного тока регулируется с точностью до 1%.

-
1. Документации по программированию процессора TMS320F2811
 2. Документация по использованию ЖК- экранов на базе процессора HD44780U.
 3. Документации по использованию оптодрайверов HFBR-2524 и HFBR-1524.

Научный руководитель – науч. сотр. Скоробогатов Д. Н.

БЛОК ИЗМЕРЕНИЯ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФОТОПРИЕМНОЙ МАТРИЦЫ

П.П. Гугин

ФГУП «НПП «Восток»

Новосибирский государственный университет

В настоящее время активно развиваются различные фотоприемные устройства, основанные на всевозможных технологиях. «НПП «Восток» также выпускает фотоприемные устройства. Среди них, в частности, есть фотоприемная матрица с разрешением 2048 на 2048 ячеек. Важной задачей является создание устройства, которое смогло бы обеспечить как управление матрицей, так и обработку получаемых с нее данных с заданной скоростью. В данной работе требуется скорость один кадр за 280мс с глубиной разрешения не менее 14 бит.

В настоящее время для обработки сигнала с фотоприемных матриц большого разрешения оптимальным является использование цифровых сигнальных процессоров. Они способны с высокой скоростью обрабатывать звуковые, графические, видео и другие сигналы. Процесс обработки сигнала состоит из 3 основных этапов: дискретизация непрерывного сигнала, собственно цифровая обработка (например, фильтрация) и, в большинстве задач, цифро-аналоговое преобразование. Для осуществления этих этапов можно либо воспользоваться технологией ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы), чтобы создать процессор с уникальным набором характеристик, либо можно воспользоваться готовым решением. В настоящее время производством цифровых сигнальных процессоров для решения практически любых задач занимаются многие компании по производству интегральных схем. Поэтому представляется оптимальным попытаться найти подходящий процессор под данную задачу и разработать требуемую систему на основе него.

В работе применен процессор TMS320DM6437 DAVINCHI фирмы Texas Instruments. Это семейство цифровых сигнальных процессоров специально создано для применения в разработке видео систем, для которых требуется высокая скорость обработки информации, гибкость и универсальность. В настоящее время проводится макетирование устройства измерения и обработки электрических параметров фотоприемной матрицы.

Научный руководитель – нач. ОП «НПП «Восток» В. И. Алябьев

РАДИОВОЛНОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ ПЛОСКИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Е.В.Емельянов

Томский государственный университет

Исследование свойств резонансных СВЧ-структур с неоднородностями составляет основу разработки большого числа электронных, диагностических, измерительных устройств и является одной из актуальных задач современной технической электродинамики. Например, такие задачи решались и решаются как для резонаторов объемного типа, так и для резонаторов открытого типа. Резонаторы объемного типа применяют в дециметровом и сантиметровом диапазонах, в коротковолновой же части СВЧ диапазона перспективы связаны с применением открытых резонаторов (ОР).

В частности, с помощью ОР возможен бесконтактный динамический контроль параметров (геометрических размеров, комплексной диэлектрической проницаемости, влажности и т.д.) большого ряда материалов. Что заменяет и упрощает измерения параметров с помощью других методов и приборов.

В данной работе разработаны метод измерения, а так же выбрана методика, определения параметров влажной бумаги. Определение сдвига резонансной кривой ОР, и с помощью соотношений, полученных благодаря методу многократных отражений, получить комплексную диэлектрическую проницаемость листовой бумаги в зависимости от влажности.

На настоящий момент, соотношение, связывающее содержание влаги (воды) в материале и комплексную диэлектрическую проницаемость не получено, то есть актуальной задачей является его представление.

В данной работе исследуется изменение добротности и резонансной частоты ОР при включении в него листовой бумаги с различным содержанием влаги. Показана и доказана возможность применения метода бесконтактного измерения параметров с помощью ОР.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. Дунаевский Г.Е.

ПЕРЕДАТЧИК МОЩНОСТИ ДЛЯ ПИТАНИЯ НАКАЛА КЛИСТРОНОВ L-ДИАПАЗОНА

В. Д. Забродин
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Разработка источника питания накала клистронов связана с задачей передачи электрической мощности под высокий потенциал. Для клистронов L-диапазона характерная величина напряжения катод-анод составляет 100-150 киловольт, под этим же потенциалом относительно земли расположен подогреватель катода.

Данная задача может быть решена несколькими способами и для указанного диапазона напряжений одним из наиболее подходящих решений представляется источник питания, основанный на использовании высокочастотного разделительного трансформатора [1]. В таком решении необходимая гальваническая развязка обеспечивается зазором между сердечниками первичной и вторичной обмоток, при этом передача мощности осуществляется на высокой частоте (десятки килогерц) с использованием связанных колебательных контуров. Для получения высокого КПД в такой схеме особенно важным становится уменьшение потерь, как в самом трансформаторе, так и во входной и выходной цепях, поэтому для генерации ВЧ мощности должны использоваться высокоэффективные схемы преобразователей и инверторов [2,3].

В работе представлены результаты моделирования разделительного ВЧ трансформатора и экспериментальная проверка полученных результатов, а также рассмотрены несколько вариантов реализации источника питания с использованием высокочастотного разделительного трансформатора. Работа выполнена в рамках контракта между DESY (Германия) и ИЯФ им. Будкера СО РАН по проекту XFEL.

1. Ю.Д. Валяев, И.В. Казарезов, В.И. Кузнецов, В.П. Останин, Малогабаритный высокочастотный разделительный трансформатор для питания устройств, расположенных под высоким потенциалом, Препринт ИЯФ 89-160 (1989).

2. P. Athalye, D. Maksimovic, R. Erickson, High-Performance Front-End Converter for Avionics Applications, HFPC Conf., 2001, pp. 92-104.

3. H. Kifune, Y. Hatanaka and M. Nakaoka, Cost effective phase shifted pulse modulation soft switching high frequency inverter for induction heating applications, IEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 151, No. 1, January 2004, pp.19-25.

Научный руководитель – н.с. П. А. Бак

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ ИСТОЧНИК ТОКА ДЛЯ ПИТАНИЯ ФОКУСИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КЛИСТРОНА

С.А. Кислицын

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Целью данной работы ставилась разработка высококачественного источника тока для питания магнитной системы клистрона на базе мультрезонансного выпрямителя [1].

Высококачественный источник тока должен удовлетворять следующим параметрам:

- коэффициент мощности (КМ) $>0,97$
- выходная мощность 3,5кВт
- изменение выходного тока в диапазоне 13 - 17А
- коэффициент нестабильности выходного тока $<0,5\%$
- связь с компьютером через CAN интерфейс

- система защиты источника при аварийных ситуациях, отслеживающая превышения входных значений токов, выходного тока и напряжения.

На базе схемы, предложенной в статье [1], был собран высококачественный мультрезонансный выпрямитель, показавший высокое значение КМ 0,99, коэффициента нелинейных искажений 4,1%, коэффициента нестабильности выходного тока 1%.

Для уменьшения коэффициента нестабильности по току до значения 0,4% в схему было внесено управление, которое представляет собой обратную связь по току со схемой ЧИМ.

Управление происходит следующим образом: сигнал с LEM-датчика тока на выходе источника тока поступает на микроконтроллер AT91SAM7X256 фирмы Atmel, имеющий встроенный 10-битный АЦП, поддерживающий CAN интерфейс. Далее оцифрованный сигнал сравнивается с опорным значением напряжения, которое заносится оператором во флэш-память микроконтроллера. Результат этого сравнения идет на встроенный 16-битный счетчик, который задает время задержки между импульсами постоянной длительности, то есть задает модулированную частоту. Управляющий импульс соответствующей частоты поступает на ключевой элемент, задавая следующее значение тока. Таким образом, происходит стабилизация тока на выходе источника.

1. Y. Jang and Robert W. Erickson, "New Single- Switch Three-Phase High Power Factor Rectifiers Using Multi- Resonant Zero Current Switching"// IEEE Applied Power Electronics Conference, 1998 Record, pp. 194-201.

Научный руководитель – н.с. П.А. Бак

ИЗМЕРИТЕЛЬ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ

Д. С. Козин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Объект разработки – усовершенствование уже существующего ИВИ на основе новой элементной базы в стандарте КАМАК. Данный блок используется для измерения временных интервалов с точностью 250пс, максимальным количеством интервалов равным 8 и максимальным диапазоном по времени между первым и последним импульсом 7,6 мкс. Данный блок в настоящее время используется для измерения скорости пучка на ВЭПП-2 Института Ядерной Физики.

Целью работы является создание программного обеспечения для программируемой логической матрицы (ПЛИМ) ALTERA семейства Cyclone для управления микроконтроллером TDC_GP-1, который является измерителем временных интервалов, а также эта программа ПЛИМ должна осуществлять связь этого микроконтроллера с крейтом КАМАК .

В данной работе необходимо было:

1. Изучить режимы работы микроконтроллера TDC_GP-1 и выбрать нужный.
2. Изучить разработанную электрическую принципиальную и печатную плату.
3. Написать программное обеспечение для ПЛИМ.
4. Проверить работу готового устройства.

Научный руководитель – м.н.с.Е. В. Быков

РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ С ПОВЫШЕННЫМ КПД НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМАТОРА БЕЛКИНА

И.Ю. Красников

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН
Новосибирский Государственный Университет

Среди источников импульсов высокого напряжения наименее исследованным являются спиральный генератор и трансформатор Белкина. Спиральный генератор, впервые предложенный Фитчем и Хауэллом [1], является частным случаем импульсного трансформатора

одновременно и независимо предложенного Н.В. Белкиным и А.Я. Жарковой (ВНИИЭФ, г. Саров) [2]. Эти устройства обладают рядом преимуществ. Они не требуют первичных низковольтных и вторичных высоковольтных ёмкостных накопителей энергии – первичный и вторичный накопитель составляют единое целое.

В отличие от спирального генератора Фитча, в трансформаторе Белкина можно сильно изменять параметры трансформатора незначительными изменениями конструкции.

В работе получены импульсы специальной формы, которые можно использовать в зависимости от поставленной задачи:

- импульсы треугольной формы. Такие импульсы с напряжениями в сотни киловольт трудно получить с помощью обычных электронных компонентов.
- импульсы, у которых вторая полуволна колебаний больше первой и коэффициент связи $k=0,6$. При данном коэффициенте связи вся энергия передается на второй полуволне.
- импульсы, у которых первая полуволна колебаний больше второй, при этом КПД составляет 40%, что является рекордным по сравнению с известными аналогами (трансформатор Тесла, спиральный генератор).

В докладе приводятся зависимости КПД от диаметра, толщины намотки, наличия ферромагнитного сердечника и числа витков для нескольких вариантов конструкций трансформатора Белкина.

-
1. R.A. Fitch and V.T.S. Howell, Proc. IEE 111, 849 (1964).
 2. Белкин Н.В., Жаркова А.Я. А.с. 149494 СССР, Класс 21d², 49. Импульсный трансформатор. Бюллетень изобретений № 16, 1962.

Научный руководитель – канд. техн. наук, проф. Е.И. Пальчиков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГЕОМЕТРИИ РАДИОМАЯЧНОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Е. М. Лобов

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского

Рассматривается наземная беззапросная радиомаячная система определения координат подвижных объектов (ПО) в городских условиях.

Предполагается, что ПО измеряет псевдодальности до нескольких излучающих радиомаяков и вычисляет свои координаты по методу наименьших квадратов. В этом случае итоговая погрешность определения координат будет зависеть не только от точности измерения псевдодальности, но и от взаимного расположения радиомаяков и ПО на момент измерений. Физической величиной, численно характеризующей точностные характеристики системы позиционирования, зависящие от геометрии, является геометрический фактор потери точности (геометрический фактор, коэффициент геометрии, англ. Geometric Dilution of Precision, GDOP). В работе исследуется влияние взаимного расположения радиомаяков и ПО на плоскости, а также неравноточности ошибок измерений псевдодальностей на величину геометрического фактора. Проводится сравнение геометрических факторов рассматриваемой системы и современных спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС. Результаты вычисления GDOP при фиксированном расположении маяков наглядно представляются в виде изолиний на координатной плоскости, анализируя которые можно быстро получить достоверные предварительные рекомендации по размещению радиомаяков в густонаселенном пункте или крупном предприятии.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. И. Д. Золотарев

СОЗДАНИЕ ЯЧЕЙКИ НАНОСЕКУНДНОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА С НАПРЯЖЕНИЕМ 150 КВ.

М. Н. Люлюкин

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН
Новосибирский Государственный Университет

При проведении динамических экспериментов в области физики сплошных сред и в области воздействия на процессы катализа возникает необходимость применения высоковольтного барьерного разряда с коротким фронтом нарастания. Его создание связано с рядом технических сложностей, наиболее значимая из которых – получение больших производных напряжения по времени.

Описываемый в докладе источник высоковольтного разряда создан на основе безжелезного трансформатора Тесла. Основным достоинством является близкая к идеальной перекачка запасённой в первичной ёмкости энергии на второй полуволне колебаний во вторичную емкость.

Первичная цепь выполнена в виде малоиндуктивной двухшинной линии с двумя керамическими ёмкостями (запасаемая энергия 1 Дж) и управляемым разрядником. Вторичная цепь выполнена в виде конусообразной обмотки на каркасе из оргстекла и металлического накопительного тела, помещённых в герметичный корпус, наполненный трансформаторным маслом. Для обострения импульса использовался разрядник с водородной атмосферой высокого давления (70 атм) и временем пробоя менее 1 нс.

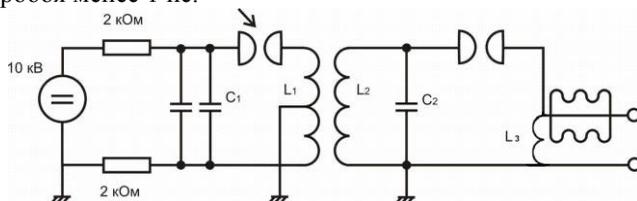


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема высоковольтного источника.

В докладе приводятся принципы, положенные в основу разработки устройства, технические характеристики, результаты, полученные экспериментальными измерениями.

Показано, что с использованием достаточно небольшого количества энергии, удается получить производную напряжения порядка 10^{14} В/с.

1. Абрамян Е. А., Сильноточные ускорители-трансформаторы: Препринт ИЯФ СО АН СССР №17-70. Новосибирск (1970)

Научный руководитель – канд. техн. наук, проф. Е.И. Пальчиков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННОГО РЕЖИМА В ДВУХАНСАМБЛЕВОЙ СИСТЕМЕ СВЧ АВТОГЕНЕРАТОРОВ

Ю. Н. Мишин
Томский государственный университет

Одним из способов получения высокой мощности в СВЧ диапазоне является объединение многих относительно маломощных автогенераторов в систему с когерентным суммированием мощностей в общей нагрузке или в пространстве. Такие системы могут иметь ансамблевую структуру. Исследуемые двухансамблевые системы обладают уникальным свойством:

в них одновременно присутствуют два типа взаимодействия, оказывающие противоположное влияние на устойчивость рабочего когерентного режима. Увеличение стабильности когерентного режима является нетривиальной задачей.

В докладе представлены результаты экспериментального исследования системы четырёх транзисторных СВЧ-автогенераторов, имеющих несимметричную двухансамблевую структуру. Исследовано влияние на мощностно-частотные характеристики системы дестабилизирующих факторов, таких как различие амплитуд сигналов автогенераторов и параметров цепи связи (нагрузки, электрических длин линий). Показано, что при согласовании общей нагрузки режим суммирования мощностей в системе нестабилен. Направленное изменение общей нагрузки позволяет существенно повысить стабильность рабочего когерентного режима. Другим способом увеличения стабильности является специальное введение в цепь связи внутриансамблевой несимметрии. Построенная с использованием указанных способов система характеризуется широкой полосой синхронизации (порядка 7-10 %) и значительным допустимым различием парциальных мощностей (в два – три раза). Показано, что экспериментальные результаты соответствуют теоретическим оценкам на основе исследований устойчивости. Это позволяет сформулировать методы получения устойчивого когерентного режима сложения мощностей в многогенераторных системах имеющих ансамблевую организацию.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С.С. Новиков

РАЗРАБОТКА РЕГИСТРИРУЮЩЕЙ КАМЕРЫ НА ОСНОВЕ КМОП МАТРИЦЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ИЯФ

А.В. Отмар

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Современный эксперимент требует регистрировать, сохранять и переводить в цифровой вид большой объем данных. В ряде случаев полезная информация представляет собой, световой поток с определенными параметрами, или же легко в него преобразуется. Для регистрации подобной информации широко применяются светочувствительные двумерные матрицы.

Промышленностью широко выпускаются цифровые камеры на основе ПЗС и КМОП матриц, они подходят для широкого круга промышленных и экспериментальных задач. Наибольшую сложность представляет регистрация событий импульсного характера, с временами много меньшими периода следования кадров. Задачи такого рода накладывают следующие ограничения на регистрирующее оборудование: должно быть основано только на матрицах с «глобальным» затвором, наличие входа для внешнего сигнала запуска, по которому будет производиться синхронизация съемки.

Целью данной работы стоит разработка камеры удовлетворяющей следующим требованиям: использование черно-белой VGA матрицы с глобальным затвором, скорость съемки 10-30 кадров в сек, Ethernet 100 интерфейс связи с ПК, программируемые длительности экспозиции, коэффициента усиления, размера кадра, внешний и внутренние запуск, невысокая стоимость, современная элементная база.

Научный руководитель – Цыганов А.С.

ШИРОКОПРОФИЛЬНАЯ СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ «CANal»

А. Н. Панов

Институт Ядерной Физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В современном мире необходимо собирать и анализировать огромное количество данных о температуре, давлении, об ускорении, интенсивности света, уровне радиации и о многих других важных параметрах, о которых нельзя забывать при проектировании зданий или научных установок, при добыче нефти или при работе АЭС. Именно поэтому человек использует различные системы для сбора данных и их анализа, созданные на базе из различных активных или пассивных датчиков, АЦП с высоким разрешением, микроконтроллеров и каких либо протоколов передачи данных на ПК.

В Институте Ядерной Физики им. Будкера в различных проектах используется множество систем сбора данных (ССД), в частности в рамках проекта «Разработка многоакурсной рентгенографической системы на базе электронного ускорителя» была создана система сбора данных о быстрозатухающем вибрационном процессе в элементах здания, возникающем вследствие воздействия на здание однократных ударных импульсов. На основе полученных данных рассматривается вопрос о

необходимости создания системы демпфирования для электронного ускорителя.

Разработанная система сбора данных «CANal» представляет собой набор коллекторов со встроенными интегральными датчиками ускорения ADXL320. Кроме того, к каждому из коллекторов можно подключить до 5 дополнительных внешних датчиков (например, пьезодатчики KD-35).

Основные характеристики ССД «CANal»:

- Измерения вдоль трех координат;
- Чувствительность: 174 мВ/г;
- Диапазон измерения уровня вибраций:
Виброускорение (ПЗ): 0,2 - 75г (при использовании KB-103);
- Погрешность измерения вибрации (не более) 0,2 %;
- Возможность долговременного мониторинга;
- Быстрое получение (до 1Мб/с) данных на ПК от коллектора по протоколу CAN[1,2];

1. Robert Bosch GmbH «CAN Specification Ver.2.0»,1991

2. В. Hallgren «Controller Area Network - hardware description» // CERN ATLAS DCS

Научный руководитель – П. А. Бак

УМНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ 8-И ММ ДИАПАЗОНА ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СТЕКОВЫХ ВАРИКАПОВ

А. В. Поликарпов
Томский государственный университет

В настоящее время миллиметровые волны (30 – 300 ГГц) находят широкое применение в технике связи, в радиоастрономии, локации, в том числе при построении РЛС различного назначения. В связи с развитием современных систем РЭБ и РЛС ближнего действия наземного, авиационного и морского базирования, появилась необходимость создания высокоэффективных, надёжных и компактных полупроводниковых передающих устройств, обеспечивающих возможность получения выходной мощности до 100Вт. На сегодняшний день наилучшие результаты в этой области могут быть получены с применением цепочки усилительно-умножительных каскадов. К недостаткам такого решения

можно отнести большое число ячеек ФАР, необходимых для получения заданной суммарной мощности.

Данная работа посвящена исследованию энергетических характеристик и нестационарных процессов в удвоителях частоты. В частности, в работе получена система параметров, позволяющих разработчику проводить проектирование высокоэффективных удвоителей частоты. Разработана и изготовлена многослойная полупроводниковая структура – интегрированный стековый варикап, который представляет собой последовательное соединение двух или более $p+n$ переходов, соединённых через туннельные $p+n$ переходы, играющие роль минимально препятствующих току низкоомных соединений. Структура выращена методом газофазной эпитаксии в едином технологическом процессе. На основе разработанного варикапа с двумя $p+n$ переходами был спроектирован и изготовлен небалансный однодиодный удвоитель частоты, выходная мощность которого на частоте 34 ГГц составила 0.5 Вт при эффективности 60%. Столь высокий уровень выходной мощности при данном значении эффективности недостижим при использовании варикапов с барьером Шоттки. Таким образом, применение разработанных интегрированных стековых варикапов в умножителях частоты позволит, в частности, значительно снизить число ячеек в ФАР при заданной мощности, а также повысить надёжность изделия.

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

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЛЕРА ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

А. С. Сосков

Новосибирский государственный университет
Институт ядерной физики имени Будкера СО РАН

Объект разработки – контроллер шагового двигателя. Целью работы является создание программного обеспечения контроллера шагового двигателя, поддерживающего дробление шага. Управление контроллером, позволяющим управлять токами в обмотках биполярных шаговых двигателей в диапазоне от -3 до +3 Ампер, осуществляется с помощью персонального компьютера через интерфейс RS-485. Контроллер должен позволять делить шаг на 16 частей. В данной работе необходимо было:

1. Изучить принцип работы биполярных шаговых двигателей

2. Изучить разработанную электрическую принципиальную и печатную плату
3. Написать программу для микроконтроллера, используемого для создания контроллера шагового двигателя
4. Проверить работу готового изделия с различными биполярными шаговыми двигателями, и при необходимости усовершенствовать программу

Требования к контроллеру: для того, чтобы шаговый двигатель выполнял свои функции, необходимо, чтобы на две его обмотки подавались токи определенных значений в заданные моменты времени. Спроектированный контроллер должен подавать на обмотки двигателя прямой и обратный токи величиной: 0.5 А; 0.75 А; 1 А; 1.5 А; 2.0 А; 2.5 А; 3.0 А; при постоянном напряжении 50 Вольт. У контроллера должна быть возможность записывать текущее положение двигателя на микросхему энергонезависимой памяти, с объемом памяти не менее 10 Кбайт, принимать команды с персонального компьютера, используя интерфейс RS-485 , обрабатывать и выполнять поступившие от пользователя команды.

1 Douglas W. Jones. Stepping motors: [<http://www.cs.uiowa.edu>].

2. Atmel. 8-bit Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash. [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf].

3. National Semiconductor. LMD18245 3A, 55V DMOS Full-Bridge Motor Driver. [<http://www.national.com/ds.cgi/LM/LMD18245.pdf>].

Научный руководитель –А.А.Волков.

РАЗРАБОТКА ЛИНЕЙНОГО ДЕТЕКТОРА ДЛЯ СКАНИРОВАНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ПУЧКОВ СИ

И. И. Тихонюк

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

На данный момент существует задача, связанная с юстировкой и проверкой качества рентгеновских пучков для ряда источников синхротронного излучения (СИ) Института ядерной физики СО РАН. Изготовление рентгеновского сканера на основе прибора с зарядовой связью (ПЗС) будет являться вспомогательным средством, упрощающим решение данной задачи.

Такой сканер должен регистрировать рентгеновский пучок с вертикальной апертурой до 10 мм и горизонтальным размером до 10-20 мм в энергетическом диапазоне 5-30 кэВ с пространственным разрешением порядка 10-100 мкм. Предполагается использовать линейные ПЗС 1200ЦЛ1 и 1200ЦЛ2. Их фоточувствительные области содержат 1024 ячейки (с шагом 15 мкм) в ЦЛ1 и 2048 ячеек (с шагом 12 мкм) в ЦЛ2. Данный тип линейных ПЗС был проверен и хорошо себя зарекомендовал для ряда источников СИ.

К особенностям данных ПЗС относится геттерирование всего объёма кремниевое кристалла, что обеспечивает высокую чувствительность при прямой регистрации рентгеновского излучения. Для энергии рентгеновских фотонов 10 кэВ ПЗС данных типов имеют квантовую эффективность больше 70% (она снижается до 8% на энергии 30 кэВ). В тех случаях, когда интенсивность рентгеновского пучка велика, перед ПЗС ставится фильтр.

Сканер разрабатывается на основе ранее созданной в Институте ядерной физики СО РАН цифровой телевизионной камеры с интерфейсом Fast Ethernet (100base-T). Протокол Ethernet и алгоритм управления ПЗС реализованы в PLD Altera EP1K30TC. Кроме того, для сканера предполагается реализовать в PLD алгоритм управления шаговым двигателем, что позволит обеспечить синхронность перемещения каретки сканера и процесс интегрирования изображения в ПЗС. Для преобразования сигнала ПЗС в цифровую форму в камере (в дальнейшем в сканере) используется 3-х каналный 16-битный аналоговый сигнальный процессор AD9826, имеющий три входа, к которым можно подключить до трёх линейных ПЗС 1200ЦЛ1. Ожидается, что применение разрабатываемого сканера позволит в дальнейшем автоматизировать контроль параметров пучка СИ внутри экспериментальных установок.

Научный руководитель – ст. научный сотрудник М. Г. Федотов

ИССЛЕДОВАНИЕ КОГЕРЕНТНЫХ И НЕКОГЕРЕНТНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ДВУХ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ АВТОГЕНЕРАТОРОВ

А.А. Усюкевич
Томский государственный университет

Одним из методов повышения мощности СВЧ-источников является объединение многих взаимосвязанных автогенераторов, работающих в

синхронном режиме. Получаемые, таким образом системы автогенераторов должны обеспечивать высокую стабильность когерентного состояния. Это зависит, в первую очередь, от методов объединения генераторов и от характеристик цепей взаимной связи, которые на практике могут варьироваться в широких качественных и количественных пределах.

В предлагаемом докладе будут представлены результаты экспериментального исследования системы двух СВЧ-автогенераторов, связанных через волновой канал с общей нагрузкой. Исследовано поведение характеристик симметричной системы в полосе синхронизации при изменении фазового параметра волнового канала. Найдены области существования синфазных, противофазных и промежуточных (нестабильных) режимов и идентифицированы соответствующие им (в смысле устойчивости) типы связи. Наиболее широкой областью стабильности обладает противофазный режим колебаний автогенераторов. Тип связи, соответствующий синфазным колебаниям, имеет узкую область настройки, в которой частотная характеристика параметра взаимодействия обладает характерным резонансным поведением. Обнаружено, что в этой области когерентные колебания не могут существовать; вместо них имеет место хаотический колебательный процесс, имеющий сплошной и достаточно равномерный спектр с полосой порядка 5-10%. На основе исследования устойчивости предложено теоретическое объяснение хаотического поведения системы и его связь с резонансным свойством параметра взаимодействия.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. С.С. Новиков

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАПРЕДЕЛЬНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ВОЛНОВОДОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ И СРЕД

К. Ю. Чернов

Томский государственный университет

На основе запредельных многослойных круглых волноводов возможно создание устройств измерения магнитной и диэлектрической проницаемости материалов и сред [1]. В связи с этим представляет интерес исследование электромагнитных процессов и в запредельных прямоугольных многослойных волноводах.

В настоящей работе исследуется поведение волны H_{10} в многослойных запердельных прямоугольных волноводах.

В результате проведённых компьютерных экспериментов обнаружено, что на частотах много меньше частоты отсечки мнимая часть постоянной распространения волны H_{10} в запердельном прямоугольном волноводе с пластинкой изменяется в значительно больших пределах при изменении магнитной проницаемости пластинки, чем мнимая часть постоянной распространения этой волны в полностью заполненном волноводе. Кроме этого, зависимость мнимой части постоянной распространения от положения пластинки в волноводе может иметь как максимумы, так и минимумы, в зависимости от соотношения материальных параметров самой пластинки и заполняющей среды. Так же возможно получение различных видов функциональной зависимости (линейной, нелинейной, возрастающей, убывающей) затухания волны H_{10} от магнитной проницаемости пластинки.

Подобное поведение затухания рассмотренного типа волны вызвано особенностями структуры его поля. Изменение магнитной проницаемости одного из слоев приводит к перераспределению поля между слоями.

Установленные особенности затухания волны H_{10} могут быть использованы при разработке устройств измерения магнитной проницаемости материалов и сред.

1. Иванов Ю.Г., Мещеряков В.А., Жуков А.А. Электромагнитные процессы в запердельных круглых волноводах с многослойным заполнением // Известия вузов. Физика. – 2006. – № 3. Приложение. – С. 111-112.

Научный руководитель– канд. физ.-мат. наук, доц. А.А. Жуков

ГЕНЕРАТОР НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ ТРАНЗИСТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ В ЛАВИННОМ РЕЖИМЕ

К. В. Шпольвинд

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В современных ускорителях для генерации лазерного излучения необходимо группировать электроны в сгустках, поскольку важным параметром является пиковый ток. Группировка возможна на основе информации о распределении заряда в сгустке. Большую

неопределенность в распределении заряда вносит изменение эмиссии катода за время импульса порядка 1 нс. Группировка сгустка до 100 пс может быть выполнена, если есть диагностика распределения заряда в сгустке.

Целью работы является создание импульсного генератора сигналов, амплитуда и длительность которых были бы близки к характерным амплитуде и длительности тока сгустка в ускорителе ЛСЭ Сибирского центра фотохимических исследований. Создаваемый генератор может быть использован для юстировки станции положения пучка в канале транспортировки. В основном, этот генератор будет использован для настройки и отладки пикового детектора со смещением. На основе полученных результатов измерений можно будет восстановить распределение заряда в электронном сгустке. Данный генератор может быть полезен лабораториям, занимающимся созданием и обслуживанием ускорителей элементарных частиц.

На данный момент получена генерация импульсов на транзисторах, работающих в лавинном режиме. Генератор работает в ждущем режиме, т.е. с запуском от внешнего задающего генератора, и на нагрузке 50 Ом создает импульсы гауссовой формы напряжением 50 В и длительностью на полувывоте равной 1 нс. Частота повторения импульсов пока ограничена 1 МГц. Ведется дальнейшая работа по уменьшению длительности генерируемых импульсов.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук М. А. Щеглов, Л.Э.Медведев

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАШИННАЯ ГРАФИКА

ВЫБОР МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ СИСТЕМЫ СВЯЗАННЫХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

С. А. Авдеев

Институт автоматики и электротриии СО РАН
Новосибирский государственный университет

В последние годы растёт интерес к использованию симуляции систем твердых тел в приложениях, моделирующих окружающий мир. В данной работе была поставлена задача моделирования сложных связанных механических систем. Эти системы можно моделировать набором твёрдых тел, связанных между собой различными типами соединений. Ограничения, наложенные на соединения в модели, обусловлены поведением реальных соединений, шарниров, суставов. Используя такую модель, можно описывать движения сложных составных объектов, например, животных и людей, основанных на движении частей их скелетов.

Эту систему планируется применить в комплексе тренажеров.

Вся задача разбита на подзадачи:

Выбор и разработка способа аналитического описания различных типов соединений, описание систем уравнений, соответствующих скелетной модели.

Выбор подходящих аналитических и численных алгоритмов решения этих систем.

Определение областей применимости и ограничений на характеристики моделируемых систем. А в частности, рассмотрение возможности применения результатов этой работы в симуляции движений скелетных живых существ.

Проектирование и реализация программного пакета на языке C++.
Разработка удобного программного интерфейса пакета.

Научный руководитель – В. С. Бартош.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ЭПР СПЕКТРОМЕТРЕ. ЧИСЛЕННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛА

В. С. Июдин, М. П. Цейтлин

Казанский физико-технический институт им. Е. К. Завойского
КазНЦ РАН

В данной работе рассматривается возможность модернизации стационарного ЭПР спектрометра для проведения СВ ЭПР и времяразрешённых измерений [1]. Модернизация подразумевает под собой частичную замену аналоговых блоков цифровыми. В этом случае осуществляется прямое детектирование сигналов, поступающих с выхода микроволнового моста непосредственно на вход быстродействующего АЦП. Обработка полученных данных производится с помощью ЭВМ, где происходит численное демодулирование, при котором отсутствуют нелинейные искажения и дрейф базовой линии [2]. Управление внешним магнитным полем осуществляется при помощи компьютерной PCI платы с 24-битным параллельным TTL выходом: NI PCI-6503. Для сбора данных используется плата - цифровой осциллоскоп - NI PCI-5122 с вертикальным разрешением 14 бит, встроенной памятью 8Мб и частотой оцифровки 100Ms/s. Обе платы управляются написанной нами программой единой среды программирования LabView, разработанной фирмой National Instrument [3].

Предлагаемый подход имеет несколько преимуществ: может быть использован как для модернизации устаревшего спектрометра ЭПР: данные поступающие от спектрометра сохраняются в цифровом виде, отношение сигнал/шум больше, чем до модернизации, простота работы и управления спектрометром, сокращение времени эксперимента без потери полезной информации; так и для разработки цифровых приборов нового поколения.

1. М. П. Цейтлин, В. С. Июдин, Модернизация ЭПР спектрометра с использованием численного фазочувствительного детектирования. КФТИ им. Е.К. Завойского. Ежегод, Казань: Физтехпресс, 2008, в печати.

2. С. Р. Poole, Electron spin resonance: A comprehensive treatise on experimental techniques. New York-London-Sydney: John Wiley & Sons 1967, 557 p.

3. П.А. Бутырин, Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabView 7, 264 с., Москва: ДМК Пресс 2005.

Научный руководитель – чл.-корр. РАН, проф. К. М. Салихов.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДИФРАКЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. А. Коробейников, В. Н. Хомутов
Институт автоматике и электротрии СО РАН
Новосибирский государственный университет
Новосибирский государственный технический университет

Дифракционная эффективность является одной из важнейших характеристик дифракционных оптических элементов. Измерение дифракционной эффективности позволяет выявить дефекты, допущенные при производстве оптического элемента. Точное измерение дифракционной эффективности по всему полю особенно необходимо при создании прецизионных дифракционных элементов для контроля оптических систем интерферометрическими методами.

В настоящей работе представлены результаты разработки сканирующего устройства – оптического дифрактометра для измерения дифракционной эффективности оптических элементов и синтезированных голограмм.

Принцип измерения основан на двумерном сканировании поверхности дифракционной структуры оптического элемента сфокусированным пучком лазерного излучения. Сканирование производится посредством шаговых приводов STANDA. Управление установкой осуществляется при помощи персонального компьютера. Для регистрации множества порядков дифракции в дальней зоне используется высокоразрешающая цифровая камера (с интерфейсом IEEE1394). Компьютерная обработка цифровых изображений позволяет измерить дифракционную эффективность в каждом дифракционном порядке. Так как интенсивности различных дифракционных порядков сильно отличаются друг от друга, большое значение имеет калибровка чувствительности видеокамеры и результатов измерения в целом.

Разработанное устройство позволяет измерять дифракционную эффективность оптических элементов по всем дифракционным порядкам и по всему полю оптического элемента. Результаты представляются в виде карты распределения дифракционной эффективности по полю исследуемого элемента. Для измерения распределения дифракционной эффективности на различных длинах волн вместо лазера может использоваться монохроматор. Для проведения измерений с учётом поляризации в устройство может быть введен поляризатор.

Научный руководитель – д-р техн. наук А.Г. Полещук.

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕГУЛЯТОРА ДИНАМИКИ ПРИ СИНТЕЗЕ АСТАТИЧЕСКИХ САУ ПО МАТРИЧНОЙ МЕТОДИКЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МОДАЛЬНОГО МЕТОДА

Е. Г. Кривенцов

Новосибирский государственный технический университет

В [1] описана система модального управления для одноканальных САУ. Данная САУ является двухконтурной и включает два регулятора – «регулятор статики» и «регулятор динамики». Последний регулятор имеет форсирующий характер, т. е. является физически не реализуемым на практике. В данной статье предложена методика реализации регулятора динамики для многоканальных САУ, у которых вектор координат состояния является частично или полностью доступным прямому измерению. Пусть рассматривается F -инвариантная система [2] $S : \{A, B, C\}$. Пусть дан минимальный индекс произведения матриц d_i системы $S : d_i = \min_j c_i A^j B \neq [0]^{1 \times n}$, $j = \overline{0, n-1}$, $i = \overline{1, m}$; c_i - i тая строка матрицы C . Модифицированная модальная САУ - \aleph выбирается типовой структуры [3]. В качестве ОУ в \aleph выбирается развязанная система $S_{diag} : H_{ii}(p) = p^{-d_i-1}$. Регулятор статики для \aleph может быть представлен в виде $W_{PC_i}(p) = k_i \cdot p^{-1}$. Который обеспечивает астатизм развязанных каналов системы \aleph . Регулятор динамики для \aleph принимает вид:

$$W_{PD_i}(p) = f_{d_i-1} p^{d_i-1} + \dots + f_1 p + f_0.$$

Применяя теорему Келли-Гамильтона, регулятор динамики может быть представлен как: $W_{PD_i}(p) = - \sum_{k=0}^{d_i} f_k c_i A^k$.

Который обеспечивает желаемые динамические свойства в \aleph . Неизвестные коэффициенты k_i и $f_0 \dots f_{n-1}$ определяются исходя из желаемой динамики переходных процессов в замкнутой системе, согласно уравнению $D_{\aleph}(p) \in \mathfrak{R}(p)^{d_i+1}$.

1. Востриков А. С. Теория автоматического регулирования : учеб. пособие для вузов / А. С. Востриков, Г. А. Французова ; под общ. ред. А.

С. Востриков ; Новосиб. гос. тех. ин-т. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – Новосибирск.: Изд-во. НГТУ, 2006. – 367с.

2. Gilbert E. G. The Decoupling of Multivariable Systems by State Feedback / E. G. Gilbert // SIAM J. Control. – 1969. – vol. 7. – P. 50–63.

3. Панкратов В.В. Специальные разделы теории автоматического управления. Модальное управление и наблюдатели : учеб. пособие / В. В. Панкратов, О. В. Нос. – Новосибирск, Изд-во. НГТУ, 2001. – Ч. 1. – 48 с.

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

РАЗРАБОТКА ПО ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО КЛАСТЕРА УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

В. В. Лукашов

Институт автоматики и электротриетрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

В связи с бурным развитием и распространением автоматизированных систем сбора и обработки информационных потоков (например, аудио-, видеоданные) возрастают требования к стабильности функционирования таких систем. Распространенным способом обеспечения высокой надежности и отказоустойчивости компьютерных систем является создание кластеров и дублирование компонент этих систем.

В большинстве коммерческих и свободно распространяемых систем построения кластеров реализуется такая схема взаимодействия компонент кластера, где управление конфигурацией и мониторинг состояния кластера выполняется его узлами [1, 2]. В данной работе предлагается другой подход, в котором вся логика управления и мониторинга централизована и размещается вне узлов кластера, например, там, где размещен основной потребитель информации, выдаваемой кластером. Таким образом, совершенно однозначно определяется доступность кластера и упрощается логика управления. Также в работе особое внимание уделено архитектуре, механизмам мониторинга и управления, универсальности компонент и деталям реализации системного ПО кластера.

Основные преимущества предложенного подхода относительно распространенного способа кластеризации заключаются: в упрощении системного ПО кластера на узлах, в умеренных требованиях к однородности ОС компонент кластера. Также данное решение хорошо

подходит и в случае, когда система на кластере является частью распределенного программно-аппаратного комплекса, т.к. возможно размещение центра управления кластером вместе с основным зависящим от кластера узлом системы.

1. Pfister G. F. In Search of Clusters, 2nd ed. - Englewood Cliffs: Prentice Hall PTR, 1998. - 575 p.

2. Buyya R. High Performance Cluster Computing: Architectures and Systems. - Englewood Cliffs: Prentice Hall PTR, 1999. - 881 p.

Научный руководитель – А. А. Климов.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЕМКОСТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

А. В. Николаев

Ульяновский филиал института радиотехники и электроники РАН
Ульяновский государственный технический университет

Современная микро-, опто- и наноэлектроника в значительной степени базируется на использовании границ раздела разнородных сред. От качества их изготовления в конечном итоге зависит способность изделия выполнять заданные при разработке функции. Среди известных методов контроля электрофизических свойств границ раздела нашел широкое применение емкостной метод. Основой метода является измерение в реальном масштабе времени изменения емкости структуры под воздействием внешних факторов (напряжения, температуры, излучения т.д.).

В настоящей работе предлагается частотный метод измерения приращения емкости структуры под воздействием тех или иных внешних жестко контролируемых воздействий.

Для вычисления приращения емкости используется соотношение:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{F_0^2 \cdot (F_1^2 - F_2^2)}{F_2^2 \cdot (F_0^2 - F_1^2)},$$

где F_0^2 - собственная частота генератора измерителя емкости без исследуемого объекта; F_1^2 - частота генератора при подключении структуры без внешнего воздействия; F_2^2 - текущая частота генератора при изменении режима на структуре.

Процедура измерения приращения емкости исследуемой структуры состоит в следующем: структура помещается в термостат, задается необходимый режим по напряжению и температуре, измеряется начальная емкость с помощью измерителя емкости и частотомера, на RS выходе которого напряжение пропорционально частоте. При изменении либо температуры, либо напряжения изменяется емкость структуры и, как следствие, частота сигнала на выходе измерителя емкости, которая поступает на вход частотомера и через интерфейсную шину на вход ЭВМ, где осуществляется количественная оценка приращения емкости. Проведенные предварительные исследования чувствительности предлагаемого метода показали, что удается уверенно измерять изменения емкости не хуже 10^{-3} от ее исходного значения.

Научный руководитель – канд. техн. наук А. А. Широков.

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИМИТИВОВ. ВНЕДРЕНИЕ В СУЩЕСТВУЮЩУЮ СИСТЕМУ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ (СКГИ)

Д. В. Огородников
Институт автоматики и электротехники СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время существует много программных систем, имеющих дело с моделированием окружающего мира. Одной из важных задач этого процесса является обнаружение столкновений непроницаемых объектов, другими словами, нахождение *коллизий*.

Для решения данной задачи в лаборатории № 13 ИАиЭ используется «Метод разбиения объектов на геометрические примитивы». Согласно этому методу, для нахождения точки и времени столкновения двух объектов каждый из них разбивается на набор геометрических примитивов. Затем происходит проверка попарного столкновения примитивов из разных наборов. Если столкнулись хотя бы два примитива из разных наборов, значит, столкнулись и составленные из них объекты.

В данной работе были поставлены следующие задачи:

1. Разработка алгоритмов для следующих случаев попарного столкновения геометрических примитивов: отрезок-цилиндр, цилиндр-цилиндр, кольцо-(отрезок, треугольник, сфера, плоскость, цилиндр). Создание библиотеки подпрограмм на языке программирования C++.

2. Оптимизация библиотеки при использовании специальных инструкций процессора SSE/SSE2.

3. Создание подпрограммы, выделяющей оптимальный набор примитивов из мирового представления статических объектов для последующего столкновения с движущимися примитивами.

4. Внедрение модуля столкновений геометрических примитивов в существующую систему СКГИ: выделение интерфейса модуля, унификация имён, интерфейсных структур, комплексное тестирование.

Научный руководитель – В.С. Бартош.

СЕРВЕР КОНФИГУРАЦИИ ДЛЯ ПТК «ТОРНАДО»

В. В. Рудаковский

Новосибирский государственный университет

Современные автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) не обходятся без применения специализированных программно-технических комплексов (ПТК).

В данной работе рассматривается ПТК «Торнадо», в своем составе он содержит несколько подсистем, а именно управляющую подсистему, подсистему сигнализации, метрологическую подсистему, подсистему проверки технологических защит, подсистему наладки регуляторов, и т.д. Из них выделяются первые две – управляющая подсистема, подсистема сигнализации, они формируют основной набор настраиваемых параметров, работа с которыми происходит на этапах сборки, наладки и эксплуатации ПТК.

В процессе производства и эксплуатации ПТК «Торнадо», независимо от сложности и масштабов систем, возникают потребности в распараллеливании работ по настройке подсистем, в комплексной проверке вносимых конфигурационных данных, а так же в интеграции этих данных в прикладные программные системы. Удовлетворение этим потребностям позволит снизить количество ошибок в конфигурации ПТК и, как следствие, повысить надежность производимых систем, упростить конфигурирование ПТК на всех этапах – от производства до эксплуатации.

В данной работе предложена архитектура сервера конфигураций с поддержкой длительных бизнес-транзакций и средствами для обработки возникающих в таких случаях конфликтов. Реализация конфигурационной подсистемы ПТК «Торнадо» в такой архитектуре позволяет:

- построить дружелюбный к пользователю интерфейс разрешения конфликтов,

- обеспечить проверку вносимых данных «на лету» на стороне клиента,

- производить работы по конфигурированию параллельно несколькими людьми без опасения внести ошибки из-за несогласованных действий.

Расширяемость и возможность интеграции в другие подсистемы обеспечивается за счет использования протокола взаимодействия на основе HTTP и представления данных в формате XML.

Применение новой системы настройки ПТК «Торнадо» позволило обнаружить ряд скрытых ошибок в конфигурациях на уже внедренных объектах. Ожидается внедрение новых систем, на которых подтвердится снижение количества ошибок, вызванных несогласованными действиями, и общее уменьшение времени конфигурирования.

Научный руководитель – канд. техн. наук, О. В. Сердюков.

В СИСТЕМЕ ГЕНЕРАЦИИ ТИТРОВ

А. В. Соколов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Наложение титров в телевидении всегда было и остается актуальной задачей, причем сложность используемых титров только возрастает. Как правило, наложением титров занимаются специализированные титровальные системы. Одной из таких систем является разрабатываемая в исследовательской лаборатории №13 ИАиЭ СО РАН система генерации титров *ForwardT*.

Основная функциональность титровальной подсистемы комплекса – наложение многослойных титров, то есть микширование нескольких независимых последовательностей изображений, некоторые из которых могут сопровождаться звуком. Для генерации титровальных слоев используются разработанные специальные программные модули – титровальные элементы. В настоящее время недостатком системы *ForwardT* является низкая универсальность: в качестве исходных данных могут выступать медиа файлы только нескольких определенных форматов, для которых уже написаны титровальные элементы. Нет возможности использовать сигнал с web-камеры или потоковые данные, передаваемые по сети.

Таким образом, возникла идея использования универсальной технологии воспроизведения произвольных медиа данных - технологии *DirectShow*, разработанной компанией *Microsoft*. Основное преимущество *DirectShow* – модульная архитектура, обеспечивающая универсальность технологии как средства воспроизведения медиа данных.

Целью данной работы является создание титровального элемента, использующего технологию *DirectShow* для генерации отдельных титровальных слоев, подаваемых на вход титровальной системе *ForwardT*, а также определения области применимости, в которой надежность и быстродействие технологии *DirectShow* будут достаточными для корректной работы системы в целом.

-
1. Andrew Troelsen, Developers Workshop to ATL 3.0 – Wordware Publishing
 2. Mark Pesce, Programming Microsoft DirectShow for Digital Video and TV
 3. D. Rogerson, Inside COM - Microsoft Press, 2001

Научный руководитель – И. Г. Таранцев.

ОБРАБОТКА 3D ИЗОБРАЖЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

А. А. Тычинская

Институт автоматки и электротметрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Разработка чисто алгоритмических методов улучшения качества и повышения пространственного разрешения цифровых изображений, получаемых с помощью низкоразрешающей аппаратуры, является актуальной задачей, как в теоретическом, так и в прикладном плане.

Объектом исследований являются цифровые снимки, регистрируемые конфокальным микроскопом, которые представляют собой трехмерные изображения. Рассматривается линейная модель формирования изображения, и, как следствие, для восстановления выбраны линейные методы фильтрации[2]. Исходя из свойств преобразования Фурье, обработка ведется в частотной области, что значительно упрощает вычисления. С этой же целью используется алгоритм быстрого преобразования Фурье. Основным алгоритмическим подходом выбран

линейный фильтр Винера[2], являющийся оптимальным фильтром восстановления (с точки зрения минимизации среднеквадратичной ошибки) при наличии шума. В этом подходе главной задачей является построение функции рассеяния точки (ФРТ) по теоретической модели[1], исходя из таких параметров конфокального микроскопа, как числовая апертура, коэффициент преломления среды, передел разрешающей способности микроскопа. Решетку дискретизации для ФРТ предлагается выбирать меньше характерных решеток для изображения во избежание ошибок дискретизации, и впоследствии работать с изображениями большего размера. Поточечное построение ФРТ в полном объеме представляет собой сложную вычислительную задачу, поэтому в работе рассматриваются варианты упрощения и приближенного вычисления ФРТ. Также вместо неизвестного отношения плотностей мощности изображения и шума берется его оценка через отношение оценок дисперсий сигнала и шума.

1. Robert H. Webb, Confocal optical microscopy Rep. Prog. Phys. 59 (1996) 427-471.

2. Цифровая обработка изображений в информационных системах / Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. – Учебное пособие.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 168 с.

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

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ПОЛОС В ДИФРАКЦИОННОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ

И. А. Юрлагин

Институт автоматки и электротметрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в ряду актуальных направлений физики стоят нанотехнологии, одна из задач которых – создание новых материалов. Метрологическая поддержка этой задачи обеспечивается, в частности, интерферометрами. Для оптимизации состава материала голографической фотополимерной плёнки (ГФПМ) необходимо измерять изменение её оптической толщины и показателя преломления непосредственно в процессе облучения ГФПМ активным излучением.

Настоящая работа посвящена разработке системы регистрации интерферограмм и программного обеспечения для их обработки.

Выходные данные программы должны содержать одно- и двухмерное представления вариаций оптической толщины образцов ГФПМ.

Интерферометрические схемы, формирующие цифровые интерферограммы посредством цифровых камер, вносят в конечное изображение множество различных типов искажений, а именно: разрывы интерференционных полос, шумовое искажение случайного характера (спеклы лазера, неконструктивная дифракция, и др.). Эти искажения значительно затрудняют восстановление истинных координат пикселей равной яркости, что необходимо для расчета оптической толщины и показателя преломления по всей площади исследуемого образца.

В ходе работы предполагается разработка программной системы для выполнения восстановления непрерывных хребтовых линий в экспериментально полученных интерферограммах с помощью адаптивного нелинейного преобразования [1], вычисляются изменения оптической толщины по поверхности образца за время между двумя последовательными регистрациями картин. Предполагается, что обработка изображения осуществляется автоматически без участия оператора.

Используется среда программирования Microsoft Visual Studio .Net и язык программирования C# со стандартной графической библиотекой работы с графикой System.Drawing.

1. М.В. Волков, Восстановление линий экстремумов сложных картин интерференционных полос// Научно-техн. вестник СПбГИТМО(ТУ), вып.6 – СПб.:СПБИТМО, 2002. – 285 с.

Научный руководитель – д-р техн. наук, доц. И.Г. Пальчикова.

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ СПЕКТРОВ ЯМР ТВЕРДОГО ТЕЛА

А. Н. Базлаев

Сибирский федеральный университет
Институт Физики КНЦ СО РАН

Расчет спектра ЯМР системы N взаимодействующих спинов $S = \frac{1}{2}$ предполагает диагонализацию её матричного гамильтониана размерностью $2^N \times 2^N$. Время расчета и требуемый объем оперативной памяти компьютера растут экспоненциально с увеличением числа спинов системы. В связи с этим, возникает задача численного моделирования спектров ЯМР твердого тела, для физически реальных макроскопических систем, состоящих из $N \sim 10^{23}$ взаимодействующих спинов, с использованием конечного числа ($n \sim 10$) элементов модели.

В данной работе мы занимаемся численным моделированием спектров ЯМР диполь-дипольного взаимодействия для гипотетической эквидистантной линейной цепочки ядерных спинов $S = \frac{1}{2}$. Основной подход, обеспечивающий вовлечение конечного числа спинов в модели, заключается в использовании циклических граничных условий при формировании гамильтониана системы [1]. Для существенного ускорения процедуры диагонализации, мы используем фундаментальное свойство преобразований симметрии гамильтониана, позволяющее преобразовать его к блок-диагональному виду [2], что в итоге сводит диагонализацию матрицы размерностью $2^n \times 2^n$ к диагонализации нескольких матриц (блоков) с меньшими размерностями. Для учета влияния ансамбля удаленных спинов цепочки, не рассматриваемых в модели непосредственно, а так же влияния другого окружения, производится процедура свертки линий расчетного спектра с гауссовой кривой.

Мы произвели расчеты для цепочек из $n = 6, 7, \dots, 16$ спинов. Уже для $n \geq 10$ наблюдается хорошая сходимость расчетных спектров к гипотетическому предельному спектру бесконечно длинной цепочки, и для $n = 15$ и $n = 16$ спектры отличаются не более чем на 5 процентов. Это обстоятельство позволяет перейти к вопросу о минимально возможном числе спинов, обеспечивающем достоверное моделирование спектров ЯМР физически реальных систем, например, полимерных цепочек, нанотрубок заполненных атомами водорода и др.

1. Engelsberg M. et al., Phys. Rev. 7(3), 924 (1973).

2. Hodgkinson P. et al., Chem. Phys. Lett. 326, 15 (2000).

Научные руководители - канд. физ.-мат. наук А. К. Москалев, канд. физ.-мат. наук О. В. Фалалеев.

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

А. Ю. Бурдакова
Сибирский федеральный университет

В течение нескольких последних лет мы становимся свидетелями мгновенного отклика профессиональных сообществ на события, которые вызывают значительный резонанс. Разрушение «Трансвааль-парка» 14 февраля 2004 года стало предметом активного обсуждения специалистов строительной отрасли на форумах сети Интернет. По объему, качеству и обширности материала Интернет не сопоставим ни с какими другими СМИ. Для накопления и использования высказанных знаний при формировании экспертной системы нами были выделены направления: архитектурно-строительная аэродинамика, теплогазоснабжение и вентиляция, математическое моделирование и численные расчеты, теплофизика, строительная механика, металловедение.

В качестве примеров приведем фрагменты из некоторых высказываний:

Архитектурно-строительная аэродинамика

«Сходство крыши с крылом дельтаплана вполне вероятно могло привести к возникновению подъемной силы, достаточно опасной при относительно длительном обдуве. Если же порыв ветра мгновенно угасает, то может возникнуть эффект «флаттера» – зародится волна, которая побежит к периферии крыши, а потом пойдет в обратном направлении».

Теплогазоснабжение и вентиляция

«На кромке крыши не было установлено «дыхательной арматуры» в виде дефлекторов. Проектировщики сделали совмещенную неветилируемую кровлю, хотя должно было быть чердачное помещение».

Теплофизика

«Температурные колебания также значительно влияют на скорость развития в металле усталостных явлений, вызывающих потерю прочностных свойств. В подкупольном пространстве аквапарка температура около +30°C, а снаружи в субботу было почти -20°C. То есть

создалась разница температур в 50° , а это критическая величина для металлических конструкций на нашей широте».

Полученная экспертная система позволяет устанавливать межпредметные связи в учебном процессе для более качественной подготовки специалистов-строителей.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. О. В. Адмаев.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СОБЫТИЙ ДЛЯ ДЕТЕКТОРА СНД

Е. П. Волкова

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В 2007 году в Институте Ядерной Физики им. Г.И. Будкера получены первые столкновения электрон-позитронных пучков на ускорительном комплексе ВЭПП-2000 [1]. В ближайшем будущем на комплексе начнутся эксперименты на встречных пучках в области энергий 0,4-2 ГэВ с использованием Сферического Нейтрального Детектора (СНД) [2]. Для контроля набора событий и физической обработки данных необходимо иметь программное обеспечение для детального графического представления событий. Необходимо иметь возможность наглядного представления событий в виде различных проекций: ортогональная, R-Z, R-φ, 2D развертка калориметра, 3D. Программное обеспечение будет использоваться как непосредственно во время записи (on-line), так и для записанных массивов данных (off-line).

Разработка такого ПО является целью данной работы. Была реализована первая версия системы [3], позволяющая наблюдать события в R-φ проекции, (ОС Linux, язык C++, библиотека классов Qt[4]).

Разрабатывается более полная версия, в которой будут реализованы все нужные проекции, удобный графический интерфейс, сохранение настроек. Структура ПО организована в виде отдельных компонент: получение событий, реализация проекций, графика, взаимодействие с пользователем. Взаимодействие с пользователем реализовано в виде Qt MDI приложения. Для взаимодействия графической системы и основной программы используется механизм сигнал-слот.

1. Shatunov Yu.M., ICFA Mini-workshop. Working Group on High Luminosity e+e- Colliders, Alghero, Sardinia, Italy, 2003.

2. Аульченко В.М и др., публ. в Пр. и Тех. эксперимента, 2007, № 6. ст. 65-82
3. Волкова Е.П., Диплом на соискание степени бакалавра, ФФ НГУ, 2007 г.
4. www.trolltech.com/products/qt

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

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО МОНИТОРИНГА И КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

М. Д. Иванов

Новосибирский государственный университет

При создании информационно-технической системы, разработчики часто стараются сделать её максимально универсальной и заложить в неё достаточный для дальнейшего развития и совершенствования потенциал. Идеи многофункциональности находят применение даже в самых привычных для людей устройствах: почти обязательной составляющей мобильного телефона является фотоаппарат, всё больше офисов отдают предпочтение использованию многофункциональных устройств, взамен монофункциональных.

Различных систем централизованного мониторинга существует достаточно большое количество. Подавляющее большинство из них используют для работы собственные системы коммуникаций. Их развёртывание занимает относительно большое время и может создать определённые трудности при монтаже, что в значительной степени повышает стоимость таких систем. Разработанное в рамках работы устройство позволяет создавать системы мониторинга различных параметров объектов с использованием популярных датчиков на интерфейсе 1-Wire. Одной из главных особенностей комплекса является использование в качестве среды передачи данных Ethernet LAN. Устройство представляет собою микроконтроллер с ядром Intel 8051, а так же сетевой контроллер Wiznet 5100, которые в паре позволяют собирать информацию об объекте, и, в случае необходимости, передавать её оператору через локальную сеть. Программное обеспечение оператора позволяет проводить запланированный опрос датчиков или сигнализировать о внештатных ситуациях. Первоначально планируется реализация функций пожарной и охранной сигнализации. В дальнейшем

возможно добавление таких функций, как видеонаблюдение. Широкие возможности сетевого контроллера помимо прочего позволят оператору или системному администратору иметь представление о работоспособности всей локальной сети в целом.

Научный руководитель – А. Н. Селиванов.

РИР ПРОЕКЦИЯ НА СТАТИЧЕСКОМ ФОНЕ ПРИ НЕПОДВИЖНОЙ КАМЕРЕ

М. А. Ковальков

Институт автоматки и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Применение технологии рирпроекции при создании видеоматериала различного назначения стало неотъемлемой частью производства. Под рирпроекцией в данном случае следует понимать подмену фона за актёром на другое изображение. Данная технология, несмотря на столь длительную историю её применения и столь широкую область охвата, до настоящего времени не лишена достаточно большого количества недостатков, выражающихся в определённых требованиях, накладываемых на съёмочное и осветительное оборудование, грим и одежду актёра. В настоящее время в лаборатории №14 Института автоматки и электрометрии СО РАН активно ведутся работы по созданию нового технологического решения для проведения презентаций, удалённых лекций, для создания высоконаглядного лекционного видеоматериала. Ключевым моментом данной технологии является погружение лектора в интерактивное виртуальное окружение, что достигается за счёт использования технологии рирпроекции. На данном этапе развития этого устройства, используется рирпроекция, описанная в работе [1], однако необходимость использования специального фона, а так же высокие требования к освещению не позволяют сделать систему мобильной и легко настраиваемой. Поэтому возникла необходимость создать новое решение для рирпроекции, основывающееся на других принципах, а именно: статичность фона, неподвижность камеры, менее жёсткие требования к качеству. Требование работы в реальном масштабе времени осталось неизменным.

Существует достаточно большое количество фильтров для различных программ видеомонтажа, позволяющих реализовать поставленную задачу по всем параметрам, кроме требования к работе в реальном времени.

Основным препятствием для этого служит огромный поток данных, который необходимо обработать (с каждой видеокамеры ~ 250 Мб/сек. для несжатого сигнала). Решение данной проблемы для случая специального одноцветного фона описано в работе [1], в случае многоцветного фона абсолютно аналогичный подход невозможен, однако, ключевой момент – использование графического акселератора для расчётов – используется для рирпроекции на статическом фоне.

В случае многоцветного фона нет эталонного цвета, с которым сравнивается каждый пиксел изображения для принятия решения, поэтому приходится каждый раз проводить попиксельное сравнение текущего кадра с эталонным кадром фона. При этом, фон формируется динамически, при перемещении актёра в кадре. Попиксельное сравнение – это слишком медленный процесс, поэтому необходимо обеспечить минимизацию области, в которой проводится попиксельный анализ. Для этого используется вычисление временной дисперсии каждого пикселя [2], [3], а так же обнаружение движения в кадре, затем для более точного анализа вблизи границы актёра проводится выделение контура. Такой подход обеспечивает широкие возможности по настройке рирпроекции, однако обладает существенными недостатками: увеличивается задержка обработки видеосигнала на несколько кадров, кроме того, возможно срывы в работе, проявляющиеся в рваных краях и выколотых областях внутри актёра. Для повышения устойчивости работы рирпроекции проводится автокорректировка эталонного изображения фона после случайного сдвига камеры на несколько пикселей, а так же средневзвешенная коррекция яркости (в аудитории включили освещение, солнце вышло из-за тучи, и т.д.).

Нерешённой проблемой остаётся совпадение цветов актёра и фона, в таком случае рекомендуется выбрать другой, более контрастный фон.



Рисунок 1 Исходный кадр



Рисунок 2 Обработанный кадр

1. М.А. Ковальков, “Разработка и реализация алгоритма рипроекции на базе современного графического акселератора”, МНСК, Новосибирск, апрель 2006

2. Katrin Meisinger, Tobias Troeger, Marcus Zeller, and Andre Kau. «Automatic tv logo removal using statistical based logo detection and frequency selective inpainting», University of Erlangen-Nuremberg, Germany, 2005

3. Д. Куликов, Д. Ватолин, "Обнаружение и заполнение статических инородных областей в видео на примере удаления логотипов и сбоев при ошибках передачи", "Новые информационные технологии в автоматизированных системах", стр. 13-23, Москва, март 2006

Научный руководитель – канд. техн. наук, Б. С. Долговесов.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТЕНДА ПРОВЕРКИ ЭЛЕКТРОНИКИ КАЛОРИМЕТРА ДЕТЕКТОРА BELLE

В. Б. Макарова

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время активно ведутся работы по модернизации систем регистрации данных в эксперименте на В-фабрике в КЕК. В ближайшие годы будет произведена замена морально устаревших компонент детектора BELLE на новые системы с параметрами, рассчитанными на работу в условиях с заметно (на 2 порядка) большей светимостью, а, следовательно, при большей нагрузке.

Одной из таких систем является электромагнитный калориметр на основе кристаллов CsI(Tl) детектора BELLE, где в настоящее время ведутся работы по отладке новой считывающей электроники. Эта электроника разработана при непосредственном участии лабораторий 3-3 и 3-12 ИЯФ.

Основной задачей данной работы является разработка математического обеспечения, которое позволит осуществлять проверку и паспортизацию электронных модулей электроники калориметра. Калибровка проводится от тестового генератора и на космических частицах. Для этого из 16-ти полноразмерных кристаллов CsI(Tl) была собрана матрица 4x4. Для запуска используется сигнал от сцинтилляционных счетчиков. Сигналы с предусилителей поступают на вход усилителя-формирователя, а затем оцифровываются. После прихода

триггера последовательность измерений записывается в файл для последующего анализа.

В рамках пакета для статистических расчетов ROOT создано и отлажено приложение, позволяющее обрабатывать и визуализировать данные испытательного стенда. В настоящий момент данное приложение уже работает в реальных условиях и реализует следующие функции:

1. Построение распределений пьедесталов сигналов с вычислением параметров этих распределений для последующего анализа.
2. Проверка линейности схемы.
3. Визуализация формы вспышки.
4. Создание эргономичного пользовательского интерфейса программы.
5. Организация хранения вычисляемых параметров считывающей электроники с использованием базы данных.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. И. Эйдельман.

СБОР ДАННЫХ НА ДЕТЕКТОРЕ КМД-3

М. Б. Омелянчук

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский Государственный Университет

На современных ускорителях стоят сложнейшие по устройству детекторы, которые имеют множество всевозможных датчиков, с которых идет большое количество информации, нуждающейся в сохранении, обработке и дальнейшем анализе. Таким образом, появляется необходимость для таких сложных экспериментов создать систему сбора данных, отвечающую всем поставленным требованиям надёжности, удобства в использовании и быстродействия.

Система сбора данных на детекторе состоит из двух типов оцифровывающей электроники. Целью данной работы ставилось написание программного обеспечения для обновленного оборудования одной из них, а так же сборка полного события из данных, считанных обоими типами электроники. Важной частью работы была разработка интерфейса настройки конфигурации электроники для быстрого и удобного управления ею.

-
1. И.Б. Лабутин, Разработка программного обеспечения системы сбора данных детектора КМД-3. Квалификационная работа на соискание степени бакалавра. Новосибирск, 2004.
 2. М.Н. Ачасов и др. Программное обеспечение системы сбора данных детектора СНД. Препринт ИЯФ 203-59, Новосибирск, 2003.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, И. Б. Логашенко.

СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ДЕТЕКТОРА КМД-3

Е. А. Павлюков

Новосибирский Государственный Университет

Для изучения сложного физического процесса необходимо использовать систему визуализации, которая позволяет физику отслеживать происходящие события. Так, например, при проведении сложного физического эксперимента на детекторе, оператор должен постоянно контролировать состояние множества различных подсистем. Для анализа полученных данных, при реконструкции событий физику так же требуется наглядное представление явления. Таким образом, в настоящей работе ставится задача разработать архитектуру и реализовать систему визуализации данных детектора, которая должна быть легко расширяемой, не требуя при этом особых усилий.

Описываемая система состоит из нескольких основных компонент. Первый компонент представляет собой сервер, который непосредственно зависит от программного обеспечения детектора. Сервер содержит множество виртуальных «отрисовщиков», которые занимаются заполнением сцены графическими примитивами, используя данные, полученные от программного обеспечения детектора. Второй компонент – это клиент, который отвечает за рисование полученной сцены, за взаимодействие с пользователем, за управление сервером. Взаимодействие между клиентом и сервером осуществляется на основе разработанного протокола. Такое разделение по компонентам позволяет использовать разные клиенты.

-
1. И. Б. Логашенко. Система оперативного контроля детектора КМД-2. Диссертационная работа на соискание степени магистра. Новосибирск, 1995

2. Д. Ю. Биленко. Прототип системы контроля и управления детектора КМД-3. Квалификационная работа на соискание степени бакалавра.

3. Э. Гамма, Р. Хельм. Приёмы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, И. Б. Логашенко.

МЕТОДЫ ВОССОЗДАНИЯ ПРОЕКТА В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ УНАСЛЕДОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Ю. А. Пляхин

Интел А/О

Новосибирский государственный университет

В научной деятельности используются программные системы (ПС), которые необходимо расширять [1]. Однако многие унаследованные ПС разрабатывались без использования интегрированных сред разработки (ИСР) и для их модернизации нельзя воспользоваться ИСР. Эту проблему можно решить, если на основе развиваемой ПС построить ее представление в ИСР (проект). Но для больших ПС это представляет трудоемкую задачу, поэтому актуальна автоматизация этого процесса. Целью работы является разработка методов создания проекта в ИСР и реализация на их основе ПС обладающей такой функциональностью.

Для воссоздания можно использовать отладочные выходные данные построения (компиляции, сборки, архивации и т.д.) унаследованной программы – так называемый «протокол построения». Обработав протокол и исходный проект можно извлечь информацию для создания представления проекта в ИСР: список подпроектов, взаимосвязи, команды построения, входные данные. При обработке протокола сначала нужно найти подпроекты (конечные цели), затем определить, что необходимо для построения каждого из них – это следующие цели, и т.д., до тех пор, пока целями не станут исходные тексты. Для поиска составных частей каждой цели необходимо определять класс цели. Цель может быть подпроектом, объектным файлом или исходным файлом. Подпроекты и файлы могут быть разных типов, эта информация также нужна для воссоздания проекта в ИСР. Наконец, полученную информацию нужно отобразить таким образом, чтобы она была доступна в ИСР.

В результате, методы воссоздания проекта по протоколу построения разработаны. ПС, обладающая функциональностью, соответствующей

разработанным методом реализована и успешно использована для работы с программой, которая имеет непосредственное применение к автоматизации физических экспериментов. Также, предусмотрена возможность расширения функциональности системы.

1. Dave Thomas, Agile Evolution – Towards The Continuous Improvement of Legacy Software, Journal of Object Technology, vol. 5, no. 7, 2006, pp. 19-26.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. Н. Скопин.

СИСТЕМА СОПРОВОЖДАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ВЭПП-2000

П. Б. Чеблаков

Новосибирский государственный университет

В работе рассматривается построение единой масштабируемой системы сопровождающего контроля современного ускорительного комплекса [1], предоставляющей унифицированный доступ к различным аппаратным устройствам, обеспечивающим измерение, контроль и управление. Сопровождающий контроль охватывает различные подсистемы комплекса, такие как вакуумная, криогенная, термоконтроля и некоторые другие.

Система базируется на клиент-серверной архитектуре и представляет собой серверное приложение, выполняющееся на компьютере с установленными контроллерами устройств измерения/управления и набора клиентских приложений, осуществляющих управление устройствами, сбор и анализ данных с них. Для клиент-серверных связей используется специально разработанный асинхронный протокол взаимодействия, функционирующий поверх ТСР/IP.

Построенная система предоставляет унифицированный интерфейс к контроллерам и устройствам для их конфигурации, управления и получения данных.

Все операции ввода-вывода (как клиент-серверных взаимодействий, так и общения с контроллерами) происходят в асинхронном режиме, что минимизирует время реакции системы на события и увеличивает быстродействие.

Для повышения эффективности и упрощения разработки клиентских приложений была использована концепция «издатель-подписчик»,

согласно которой клиент подписывается на интересующее его событие внутри системы и, при его наступлении, получает об этом извещение и необходимые данные. Эта концепция, в свою очередь, гармонично сочетается с асинхронным режимом общения клиента и сервера.

С целью предотвращения коллизий при одновременном доступе к одному и тому же устройству, в сервере используются явные и неявные блокировки. Для доступа к каналам устройств, к устройствам и контроллерам применяется адресация, отражающая физическую структуру связей между этими частями аппаратной подсистемы.

1. <http://vepp2k.inp.nsk.su> (4.03.2008г.)

Научный руководитель – Д.Е. Беркаев.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛИНИЯМИ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ДОЗИРОВАНИЯ

Ф. В. Шпомер

Нотис

Новосибирский государственный университет

В отрасли автоматизации существует широкий ряд оборудования, решающего отдельные подзадачи, однако для полной автоматизации требуется звено, управляющее всем оборудованием по уникальному алгоритму. Наиболее технологичным способом решения этой задачи является использование промышленных компьютеров и программного обеспечения, способного управлять заданной линией.

Однако по стоимости такое ПО подчас превышает само оборудование, выпускаемое серийно. Для снижения стоимости ПО требуется снижать трудоёмкость его разработки. Этого можно достичь, разработав особый инструментарий автоматизации. Такой инструментарий должен иметь модульную структуру, позволяющую включать функциональные блоки, требуемые для данной задачи. Таким образом, разработка ПО для решения задачи сводится к комбинированию готовых программных модулей и написанию кода, реализующего лишь алгоритм работы линии. Типичными модулями в составе такого инструментария являются: интерфейсные модули для всего ряда поставляемого оборудования; модули сбора статистики; модули настройки линии на работу по заданным рецептам; модули индикации состояния линии и др.

В работе описывается состав инструментария, решающего задачи автоматизации в области многокомпонентного дозирования продуктов, и выбранный способ его реализации. К настоящему моменту инструментарий частично реализован, а именно поддержка большинства выпускаемого оборудования; ведётся работа над реализацией оставшейся части; в ближайшее время планируется поставка ПО в составе оборудования.

Научные руководители - канд. физ.-мат. наук П. В. Логачев, В.А. Скрыпник.

ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР, ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И МАГНЕТИЗМА

ПРЕДЕЛ «РЕЗКОЙ ФАЗОВОЙ ГРАНИЦЫ» ДЛЯ МОДЕЛИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ

Е. В. Абрамова, П. К. Галенко, В. Г. Лебедев
Физико-энергетический факультет
Удмуртский государственный университет

Проанализирована модель диффузной границы для быстрых процессов затвердевания в бинарной системе на основе формализма расширенной необратимой термодинамики. Используя асимптотический метод Кейджиналла и Файфа, получен предел резкой границы уравнений динамики высокоскоростного фазового поля в бинарной системе. Показано, что, помимо баланса массы на резкой границе раздела фаз с ускорением, необходимо дополнительно учитывать еще два термодинамических условия на точки ликвидуса и солидуса. Первое условие - это условие скачка химического потенциала фаз на границе раздела, второе условие - это условие скачка химического потенциала компонент. Наличие локальной неравновесности приводит также к появлению скачка атомного потока между фазами, пропорциональному времени релаксации диффузионных потоков, квадрату скорости движения и кривизне фронта затвердевания.

Переход от модели с диффузной границей (граница конечной пространственной протяженности) к модели с резкой границей (граница нулевой толщины) фаз дает уравнения для диффузионного переноса атомов и граничные условия в следующем виде:

$$\begin{cases} \tau_c \ddot{C} + \dot{C} = \begin{cases} D_L \Delta C, \varphi \equiv 1, \\ D_S \Delta C, \varphi \equiv 0. \end{cases} \\ \left[D \frac{\partial C}{\partial n} + (v_n + a_n \tau_c) C \right]_L^S = I(v_n, k), \\ [f_c]_L^S = G(v_n, a_n, k), \\ [f - f_c C]_L^S = H(v_n, a_n, k). \end{cases}$$

где $I(v_n, k), G(v_n, a_n, k), H(v_n, a_n, k)$ - некоторые функции, интегрально зависящие от выбора асимптотического предела. В локально-равновесном

пределе, то есть при мгновенной релаксации диффузионного потока $\tau_D \rightarrow 0$, система переходит в систему, проанализированную Кесслером.

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

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ ПЕРВОГО РОДА ПРИ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИИ НАНОПЛЕНОК Fe/Cr

Н.Б. Бакулина

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург

Интерес к изучению многослойных пленок Fe/Cr с эффектом гигантского магнитосопротивления обусловлен возможностью построения на их основе технических приложений, которые преобразуют магнитные сигналы, возникающие при считывании информации с магнитных носителей, в электрические сигналы, используемые при работе компьютеров. Для эффективной работы таких устройств важное значение имеет скорость изменения намагниченности. Максимальная скорость достигается при фазовом переходе первого рода, когда величина намагниченности изменяется скачком. Возможность существования фазовых переходов первого рода под действием магнитного поля в пленках Fe/Cr определяется фазовой диаграммой магнитных структур, которая была получена в работе [1].

В этой модели магнитные моменты слоев железа могут быть упорядочены ферромагнитно, антиферромагнитно и неколлинеарно. Границы раздела между этими фазами соответствуют фазовым переходам как первого так и второго родов. Нас интересовали границы раздела фаз, которые, во-первых, соответствуют фазовым переходам первого рода, во-вторых, могут смещаться под действием магнитного поля. Только с такими границами могут быть связаны скачки на кривых перемагничивания обсуждаемых пленок. Этим требованиям удовлетворяют границы раздела между фазами, которые отличаются фазой волны спиновой плотности. Получена зависимость от магнитного поля величины Δ , определяющей смещение границы раздела фаз, соответствующих изменению фазы волны спиновой плотности на $\pi/4$:

$$\Delta = -\frac{H^2 M_{Fe}}{H_{in} + H_{ind}} \quad (1)$$

где H — внешнее магнитное поле, M_{Fe} — намагниченность слоя железа, H_{in} — поле наведенной анизотропии, H_{ind} — поле косвенного обменного взаимодействия.

1. S.A. Gudin, A.V. Gapontsev, M.I. Kurkin, V.V. Leskovets, V.V. Ustinov, JMMM, 300, 1, e553, (2006)

2. F. Fawsett, Rev.Mod.Phys., 60(209), 35, (1988)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. М.И.Куркин.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОРООБРАЗОВАНИЕ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ВОЛЬФРАМА В ЛАМПАХ НАКАЛИВАНИЯ

С.В. Беляков

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

Образование пористости в вольфрамовой проволоке происходит с участием коагуляции вакансий, избыточная концентрация которых создается тепловыми колебаниями атомов и действующими напряжениями. В условиях воздействия дополнительных нагрузок микропоры возникали на участках границ, перпендикулярных растягивающим напряжениям, что согласуется с моделью Мак-Лина [1]. При сравнительно малых температурах и сравнительно небольших напряжениях изредка наблюдаются цепочки ограненных пор («отрицательных кристаллов»), располагающихся в зерне вдоль оси проволоки. Ограничение пор приписывается равновесным условиям их роста, аналогичных равновесному росту ограненных реальных кристаллов. При предплавильных температурах (~ 3200 – 3400К) за десятки секунд могут расти поры, сопоставимые по размерам с диаметром проволоки и располагающихся не обязательно на поперечных границах. Рис. 1а иллюстрирует объединение пор, а рис 1б - случай разрушения в области локализации газонаполненной поры (предположительно парами калия, как одной из нерастворимых легирующих присадок). В теле накала ламп накаливания, работающего при температурах (~2700–2800 К) высокотемпературное разрушение происходит по механизму зарождения и распространения поперечной трещины. Роль роста пор и в этом случае исключать нельзя, откольное разрушение (рис. 1в), произошло около поры малого размера, очевидно, в месте локализации линейного упругого скопления дислокаций.



Рис. 1. Образование пористости в вольфрамовой проволоке

1. Мак Лиин. Границы зерен в металлах. М.: Металлургия. 1960. – 322 с.

Научные руководители – д-р техн. наук, проф. В. С. Мордюк,
канд. техн. наук, доцент В.В. Буряк.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛОВ $\text{NaFeGe}_2\text{O}_6$

А. Л. Волкова, Д. А. Иванов
Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН
Сибирский федеральный университет

Поиск новых материалов является актуальным в связи с большим вниманием, уделяемым в настоящее время спинтронике. Спинтроника - новая область квантовой электроники, использующая физические эффекты, связанные с изменением спинового состояния. Практической реализации идей спинтроники способствует разработка новых материалов с интересными магнитными свойствами.

В связи с вышесказанным представляется актуальным дальнейший поиск, синтез и исследование свойств новых оксидных соединений.

Целью работы является синтез поликристаллического $\text{NaFeGe}_2\text{O}_6$. Для этого необходимо было выбрать исходные реагенты, рассчитать состав шихты, определить оптимальный температурный режим протекания твердофазной реакции при нормальном давлении для смеси окислов, приготовленной в виде порошка и спрессованных таблеток, провести анализ состава синтезированного соединения.

Синтез поликристаллов NaFe -германата осуществлялся с помощью твердофазной реакции. Часть шихты отжигали в виде порошка, другую часть в виде спрессованных под давлением около 10 кбар таблеток. Предварительный отжиг проходил при $T=800$ °С в течение 25 часов. Повторный отжиг – при $T=820$ °С в течение 24 часов. Скорость подъема температуры в обоих случаях составляла 125 град/ч.

Рентгеноструктурные исследования синтезированных поликристаллов показали, что полученное соединение в виде таблеток имеет искомый состав, однако присутствует примесная фаза (Fe_2O_3), доля которой не превышает 4 % от общего состава.

В результате проведенного с помощью СКВИД-метрии исследования синтезированных поликристаллов $\text{NaFeGe}_2\text{O}_6$ можно сделать предположение о том, что данное соединение является антиферромагнетиком при температурах ниже 15 К, при высоких температурах (>100 К) кривая зависимости намагниченности от температуры можно описать законом Кюри-Вейсса.

Таким образом, синтезировано поликристаллическое соединение $\text{NaFeGe}_2\text{O}_6$, обладающее антиферромагнитным упорядочением при температурах ниже 15 К. Необходимы дальнейшие исследования свойств синтезированного соединения для изучения возможностей его практического использования.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДА БЕРЕЗИНСКОГО-КОСТЕРЛИЦА-ТАУЛЕССА В ПЕРФОРИРОВАННОЙ ПЛЁНКЕ PtSi

П. Ю. Гатилов

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

Тонкие сверхпроводящие плёнки и микроструктуры на их основе переходят в сверхпроводящее состояние через резистивную область, в которой сопротивление непрерывно изменяется почти до нуля. На нижней границе этой области, при температуре $T_{\text{БКТ}}$, предсказан топологический фазовый переход Березинского-Костерлица-Таулесса (БКТ), при котором в системе возникает *топологический* дальний порядок. Актуальность изучения явления вызвана тем, что в точке перехода принципиально меняется отклик образца на различные внешние воздействия.

В работе исследованы низкотемпературные свойства наноструктуры, изготовленной из плёнки PtSi толщиной 5 нм. Температура сверхпроводящего перехода плёнки в приближении среднего поля $T_{c0} \approx 530$ мК, сопротивление в нормальном состоянии $R_n \approx 108$ Ом на квадрат при $T = 1$ К. Структура представляла собой плёнку с отверстиями, образующими квадратную решётку с периодом 600 нм, созданными методом электронной литографии с последующим плазмохимическим

травлением; сопротивление при $T = 1 \text{ К}$ $R_n \approx 273 \text{ Ом}$. Эксперимент заключался в измерении в нулевом магнитном поле температурных зависимостей сопротивления образца $R(T)$ и изотермических зависимостей дифференциального сопротивления образца от протекающего через него тока $dV/dI(I)$. Низкотемпературные измерения проводились в криостате растворения He^3/He^4 по четырёхточечной схеме методом синхронного детектирования.

Сверхпроводящий переход имеет характерный для систем с выраженной неоднородностью двухступенчатый вид. Ниже $T_{\text{БКТ}} \approx 320 \text{ мК}$ зависимости $dV/dI(I)$ структуры имеют степенной вид при слабых токах и при некотором токе изломом переключаются на экспоненциальный, выше этой температуры резкого перехода нет. Из анализа экспериментальных зависимостей $dV/dI(I)$ установлена температурная зависимость показателя степени $\alpha(T)$ в подгонке этих зависимостей выражением $dV/dI(I) = C_1 + C_2 I^{\alpha-1}$. Вблизи $T_{\text{БКТ}}$ $\alpha(T)$ линейно приближается к 3, при понижении температуры ниже 300 мК поведение этого параметра становится нелинейным, он растёт быстрее и уже при $T < 290 \text{ мК}$ практически неопределим. Эти результаты позволяют утверждать, что наблюдается переход БКТ.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Т. И. Батурина.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АМОРФНЫХ ЛЬДОВ НИЗКОЙ, ВЫСОКОЙ И СВЕРХВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ

К. В. Гец

Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН
Новосибирский госуниверситет

В настоящее время аморфные льды привлекают внимание многих исследователей в связи с проблемой полиморфизма аморфного состояния и возможности фазовых переходов в жидкой фазе воды при ее охлаждении. Также представляют интерес особенности структуры неупорядоченной конденсированной фазы воды, отличающие ее от других конденсированных водных фаз.

Выяснение причин появления групповых колебаний молекул по всему объему структуры, не имеющей дальнего порядка, является важным вопросом в изучении аморфных тел. Аморфный лед имеет только ближний порядок, следствием чего должно было стать локальное распространение

колебаний с определенными частотами, но вычисления показали, что молекулы, находящиеся в различных частях объема, имеют одинаковые частоты. Характер взаимодействия между молекулами хорошо известен — это силы Ван-дер-Ваальса. Других сил, способных дать значительный вклад в такое распространение, нет. Одной из целей данной работы является изучение амплитуд и частот колебания молекул, а также вычисления доли молекул, участвующих в определенном групповом колебании с данной частотой. Другой важной целью является вычисление структурного фактора системы — функции, изображающей распространение молекул в объеме с определенной частотой. Эта функция способна объяснить распространение групповых колебаний.

В работе рассматривается поведение молекул в различных объемах аморфного льда со сверхвысокой, высокой и низкой плотностями в случае равных количеств молекул. Были воссозданы динамические параметры молекул при нагревании и охлаждении льда, а также при сжатии и расширении объема льда. Исходя из полученных данных, была построена TV-диаграмма для каждого типа льда при различных давлениях. Были исследованы колебания молекул воды с целью определения их амплитуды, частоты и количества молекул, участвующих в групповом колебании с одной и той же частотой (Participation Ratio). В настоящее время ведется работа по вычислению структурного фактора системы.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук О. С. Субботин.

ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ДАТЧИКА СЛАБЫХ ПОСТОЯННЫХ И НИЗКОЧАСТОТНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Э. С. Казанцева, А. В. Шатрова
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Датчики слабых постоянных и низкочастотных переменных магнитных полей и приборы на их основе широко используются в геологии – для магнитной разведки полезных ископаемых; в геофизике – для наблюдения за ионосферой и за процессами и за процессами, происходящими в недрах Земли, в системах безопасности – в качестве металлоискателей и металлодетекторов; для поиска металлических объектов под землей, под водой, под снегом и т.д.

В данной работе рассматриваются принцип действия, основы построения и разработки высокочувствительных датчиков магнитного поля нового типа, использующих модуляцию индукции намагничивания посредством возбуждения переменных продольных механических напряжений в ферромагнитном сердечнике чувствительного элемента.

Рассматриваемый датчик обладает рядом преимуществ над другими детекторами магнитного поля, такими как высокая чувствительность – 100 нанотесла на этапе разработки, относительно небольшие габариты, узкая «гантелеобразная» диаграмма направленности, позволяющая на его основе создавать как направленные однокомпонентные магнитометры, так и векторные, двух- и трехкомпонентные, для измерения модуля и направления вектора магнитного поля.

1. С. И. Казанцев, В. П. Сотниченко, Высокочувствительный датчик постоянного и низкочастотного переменного магнитного поля с акустической «накачкой», Приборы и техника эксперимента, №2, с. 1-5 (2005).

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

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА НАМАГНИЧЕННОСТИ В МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ АФМ

Ю.Е. Николаев

Башкирский государственный университет

В последнее время в связи с открытием материалов с гигантским магнитоэлектрическим эффектом. Изучение магнетиков, в которых присутствует магнитоэлектрический эффект, представляет как научный, так и практический интерес, так как в них электрическими свойствами можно управлять магнитным полем и наоборот. В работе рассматривается тетрагональный антиферромагнитный (АФМ) кристалл с анизотропией типа «легкая плоскость», к которому приложены взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поля, причем последнее направлено вдоль тетрагональной оси. Состояние магнетика с четной магнитной структурой $\bar{1}^- 4_z^+ 2_d^-$ описывается плотностью свободной энергии [1], включающей в себя магнитный, электрополяризационный и магнитоэлектрический вклады. Минимизируя термодинамический потенциал по векторам электрической поляризации и ферромагнетизма, и

переходя к сферическим координатам для вектора антиферромагнетизма $l=l(\sin\theta\cos\varphi, \sin\theta\sin\varphi, \cos\theta)$, получено выражение, описывающее основное состояние магнетика. Теоретическое исследование нелинейной динамики намагниченности проводится исходя из уравнения Эйлера – Лагранжа, которое сводится к возмущенному уравнению синус-Гордона:

$$u_{tt} - u_{zz} + \sin u = 2h\sin(u/4) - bu_t, \quad (1)$$

где $u = 4\varphi$, h – безразмерное поле, b – безразмерный параметр затухания. В качестве решения использовано решение невозмущенного уравнения син-Гордона с медленно изменяющимися со временем параметрами [2]. С учетом закона изменения полной энергии и скорости изменения числа спиновых отклонений получена система нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих изменение со временем данных параметров. Также в работе показана зависимость решения уравнения (1) от электрического и магнитного полей.

1. Туров Е. А., Меньшенин В. В., Николаев В. В. ЖЭТФ, 1993, Т. 104, № 6(12), С. 4157 – 4170.

2. Шамсутдинов М. А. и др. Ферро- и антиферромагнитодинамика. Нелинейные колебания, волны и солитоны. Уфа: Гилем, 2007, 368 с.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент. А. Т. Харисов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И УГЛЕРОДА ЛУКОВИЧНОЙ СТРУКТУРЫ.

А.М. Соколов, Т.И. Буряков

Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН
Новосибирский государственный университет

В последнее время наблюдается повышенный интерес к исследованиям, направленным на получение и изучение свойств углеродных наноструктур. Интерес к таким работам обусловлен, с одной стороны, фундаментальными исследованиями наноразмерных материалов, а с другой стороны – широкими перспективами прикладного использования таких объектов. Одними из наиболее ярких приложений данных материалов являются: газовые датчики, низковольтные эмиттеры, элементы электронных устройств, материалы, поглощающие

электромагнитное излучение и т.д. Исследование частотной характеристики сопротивления углеродных наноструктур вызывает особый интерес, в силу возможной корреляции электрофизических свойств с поглощением электромагнитного излучения.

Цель работы заключалась в измерении сопротивления многослойных углеродных нанотрубок и углерода луковичной структуры в интервале частот от 1 Гц до 100 кГц. Нанотрубки были синтезированы методом термохимического разложения углеродосодержащих соединений на поверхности металлического катализатора (Chemical Vapor Deposition, CVD) в Институте катализа СО РАН в лаборатории Кузнецова В.Л. Синтез проводился в атмосфере двуокиси углерода, что ингибировало образование аморфной фазы. Материал, состоящий из углерода луковичной структуры, был получен методом термической графитизации наноалмазов при температуре 1800 К. Исследуемые образцы, представляющие собой порошок, запрессовывались в ампулу. Измерения проводились с помощью вольтметра SR830.

В своей работе мы разработали метод исследования наноматериалов на переменном токе. В настоящее время были получены предварительные данные по радиочастотной зависимости. Ведутся работы по анализу зависимостей и их сопоставлению с поглощением электромагнитного излучения.

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

КОЭФФИЦИЕНТ ЗЕЕБЕКА И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ BiTeI И BiTeBr

Н. А. Юзеева

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

Изучены термоэлектрические свойства слоистых монокристаллов BiTeI и BiTeBr , сходных со структурой теллурида висмута, а также небольшую ширину запрещённой зоны. Эти два обстоятельства указывают на перспективность применения материалов в термоэлектрических преобразователях. Температурные зависимости коэффициента Зеебека и удельной электропроводности измерялись в интервале температур 4.2 – 300 К и 77 – 300 К для BiTeI и BiTeBr , соответственно. Кроме этого, при температурах 77 К и 300 К был исследован эффект Холла в магнитных полях до 0.7 Тл. Показано, что оба кристалла являются полупроводниками n-типа, что, по-видимому, связано с присутствием структурных дефектов.

Были также определены концентрации и подвижности электронов. При понижении температуры от 300 К до 77 К концентрация электронов практически не меняется, а подвижность увеличивается более чем в два раза. Получены доказательства, что оба исследованных соединения являются вырожденными полупроводниками, подобно Bi_2Te_3 . Отметим также, что подвижность электронов в исследованном BiTeVg заметно больше, чем в BiTeI , и сильнее зависит от температуры. Данный факт связан, скорее всего, с большей концентрацией дефектов в BiTeI .

При комнатной температуре коэффициент Зеебека равен 100 мВ/К для BiTeI , и 180 мВ/К для BiTeVg . Эти значения мало отличаются от соответствующих значений коэффициента Зеебека в Bi_2Te_3 при тех же концентрациях электронов. Отметим, что и подвижности электронов в исследованных соединениях близки к подвижности носителей заряда в Bi_2Te_3 . При понижении температуры абсолютная величина коэффициента Зеебека уменьшается и выходит на насыщение при температуре около 20 К в BiTeI , что, предположительно, связано с эффектом фононного увлечения. Таким образом, коэффициент Зеебека и электропроводность исследованных кристаллов BiTeI и BiTeVg близки к соответствующим свойствам Bi_2Te_3 . Это дает основания ожидать, что максимальная термоэлектрическая эффективность этих материалов может быть сравнима или больше максимальной термоэлектрической эффективности теллурида висмута, являющегося лучшим термоэлектрическим материалом при температурах близких к комнатной.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. В. А. Кульбачинский, канд. физ.-мат. наук В. Г. Кытин.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОРООБРАЗОВАНИЕ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ВОЛЬФРАМА В ЛАМПАХ НАКАЛИВАНИЯ

С.В. Беляков

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

Образование пористости в вольфрамовой проволоке происходит с участием коагуляции вакансий, избыточная концентрация которых создается тепловыми колебаниями атомов и действующими напряжениями. В условиях воздействия дополнительных нагрузок микропоры возникали на участках границ, перпендикулярных растягивающим напряжениям, что согласуется с моделью Мак-Лина [1]. При сравнительно малых

температурах и сравнительно небольших напряжениях изредка наблюдаются цепочки ограненных пор («отрицательных кристаллов»), располагающихся в зерне вдоль оси проволоки. Ограничение пор приписывается равновесным условиям их роста, аналогичных равновесному росту ограненных реальных кристаллов. При предплавильных температурах (~ 3200 – 3400К) за десятки секунд могут расти поры, сопоставимые по размерам с диаметром проволоки и располагающихся не обязательно на поперечных границах. Рис. 1а иллюстрирует объединение пор, а рис 1б - случай разрушения в области локализации газонаполненной поры (предположительно парами калия, как одной из нерастворимых легирующих присадок). В теле накала ламп накаливания, работающего при температурах (~2700–2800 К) высокотемпературное разрушение происходит по механизму зарождения и распространения поперечной трещины. Роль роста пор и в этом случае исключать нельзя, откольное разрушение (рис. 1в), произошло около поры малого размера, очевидно, в месте локализации линейного упругого скопления дислокаций.

2. Мак Лиин . Границы зерен в металлах. М.: Металлургия. 1960. – 322 с.

Научные руководители – д-р техн. наук, проф. В. С. Мордюк, канд. техн. наук, доцент В.В. Буряк.

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

ОБРАЗОВАНИЕ КАПИЛЛЯРА В МЕТАЛЛЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

А. С. Аракчеев, Ю. В. Петенев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Электронные пучки используются для сварки металлов. Особенность этого метода в локальности нагрева. Место выделения энергии пучка находится на дне углубления. Благодаря этому глубина сварочного шва может быть много больше его ширины. Если пучок неподвижен относительно образца, то образуется капилляр, то есть узкий и глубокий канал, заполненный частично ионизованными парами металла.

При взаимодействии пучка с металлом имеет место множество физических процессов, и первая задача – разобраться, какие из них вносят основной вклад в образование капилляра. Вторая – найти зависимости параметров получающегося капилляра от характеристик пучка.

Во время образования капилляра присутствуют все четыре агрегатных состояния вещества. В твёрдом теле энергия переносится теплопроводностью. В жидком металле важен ещё и конвективный перенос тепла. Упругость газа выдавливает жидкость из капилляра. Давление газа принимается равным давлению насыщенных паров. Газ влияет на образование капилляра ещё через рассеяние пучка. Ионизация газа происходит в основном вторичными электронами, а плазма теряется за счёт потока на стенки. Степень ионизации газа ожидается незначительной, и давление плазмы можно не учитывать. На поверхности жидкого или твёрдого металла часть энергии пучка идёт на нагрев материала. Глубина проникновения электронов с энергиями, характерными для таких применений (10–100 кэВ), в металл составляет 0,1–50 мкм. В модели образования капилляра не всегда можно пренебрегать этой глубиной и представлять энергию пучка выделяющейся на поверхности материала. Основные силы, препятствующие образованию капилляра: давление жидкости и её поверхностное натяжение.

Были проведены эксперименты, в которых электронный пучок с энергией 60 кэВ и мощностью до 30 кВт направлялся на поверхность стали. В результате образовывался капилляр с постоянным диаметром, равным диаметру пучка. Получены зависимости глубины и скорости образования

капилляра от времени действия и мощности пучка. В экспериментах со свинцом радиус отверстия получался на порядок больше радиуса пучка.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. К. В. Лотов, канд. физ.-мат. наук, доцент П. В. Логачёв.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ГИБЕЛИ АТОМОВ В ПЛАЗМЕ СМЕСИ ХЛОРА С ВОДОРОДОМ РЕЛАКСАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Н. С. Бабанова, Д. С. Плотников, М. Ю. Ивентичев
Ивановский государственный химико-технологический университет

В работе экспериментально измерены абсолютные значения вероятностей (констант скоростей) гетерогенной рекомбинации атомов хлора и водорода на стекле в зоне положительного столба разряда релаксационным методом. Измерения проводились как в чистых Cl_2 и H_2 , так и в смесях Cl_2/H_2 переменного состава. Релаксационная методика описана в работе [1]. При импульсном питании разряда скорость гибели атомов может быть определена по их остаточным концентрациям на момент времени очередного импульса тока. Изменяя длительность паузы разряда и определяя уровни концентраций атомов, получали кинетические кривые их гибели. Относительные концентрации атомов определялись спектрально, по излучению на длинах волн 452,62 нм для атомарного хлора Cl (переход $5P^2P^0_{3/2} \rightarrow 4S^2P_{3/2}$) и 486 нм для атомарного водорода (H_β). Обработка спектральных кинетических кривых проводилась в предположениях: 1) вкладом объемной гибели частиц пренебрегали; 2) скорости возбуждения излучающих состояний атомов и скорость нарастания концентрации электронов в импульсе предполагалась существенно выше скорости гибели атомов хлора в паузе; 3) гибель атомов происходит на стенке по первому кинетическому порядку.

Для разрядов в чистых газах вероятность рекомбинации составляет $\gamma_{\text{Cl}}=6,3 \cdot 10^{-4}$ и $\gamma_{\text{H}}=1,9 \cdot 10^{-3}$. В смесях Cl_2/H_2 константы скорости (вероятности) рекомбинации атомов хлора (водорода) снижаются при добавлении к чистому хлору (водороду) второго газа и составляют для 50% состава плазмообразующей смеси Cl_2/H_2 величины $k_{\text{r}(\text{Cl}(50))}=5,6 \text{ c}^{-1}$ ($\gamma_{\text{Cl}(50)}=3,1 \cdot 10^{-4}$), $k_{\text{r}(\text{H}(50))}=2,1 \text{ c}^{-1}$ ($\gamma_{\text{H}(50)}=1,9 \cdot 10^{-4}$). Полученные результаты позволяют предположить, что центры рекомбинации на поверхности разрядной трубки заполняются атомами хлора и водорода с близкими вероятностями. Однако, темпы уменьшения вероятности гибели на стенке реактора атомов хлора ниже, чем для атомов водорода, что в свою очередь

может свидетельствовать о том, что при близких вероятностях заполнения центров рекомбинации атомами обоих сортов преимущественно протекает процесс $\text{Cl}_{(g)} + \text{H}_{(s)} \rightarrow \text{HCl}_{(s)} \rightarrow \text{HCl}_{(g)}$.

1. Д. В. Ситанов, Ю. В. Кириллов, Определение коэффициента гетерогенной рекомбинации атомов хлора в плазмохимическом реакторе релаксационным методом, ХВЭ, т. 38, №3, с. 234-238 (2004).

Научный руководитель – канд. хим. наук, доцент Д. В. Ситанов.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПЫЛИТЕЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ВОДОРОДА

П. В. Громько

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Работа описывает создание источника отрицательных ионов, который в дальнейшем будет использоваться в ускорительном комплексе для протонной терапии рака. В проектируемом комплексе предполагается использование в качестве инжектора в бустер тандемного ускорителя на основе серийного промышленного ускорителя ЭЛВ-4.

Такая схема требует применения источника отрицательных ионов водорода, которые затем обдираются в протоны в перезарядной мишени тандема.

Обычно, для получения таких ионов используются плазменные источники. Но в нашем случае они создают большие проблемы, связанные с низким сроком службы и большим потоком газа, поступающим из него в ускорительную структуру, где рабочее давление должно быть порядка 10^{-11} Торр.

Была предложена идея применить для получения отрицательных ионов водорода источник распылительного типа с использованием опыта, приобретенного в Институте во время строительства ускорительного масс-спектрометра (AMS). Для этого потребовалась существенная модернизация такого источника, поскольку для AMS отрицательные ионы водорода не производятся.

Важным моментом в такой модернизации было освоение технологии насыщения титана водородом. Для этого потребовалось строительство специальной установки.

Поскольку опыта насыщения титана водородом в Институте не было, и не была найдена литература с описанием такой технологии, были проведены соответствующие исследовательские работы.

Затем потребовалось исследование работы распылительного источника, в котором в качестве распыляемой мишени используется титановая шайба, пропитанная титаном.

Существенным моментом в этой работе является измерение состава пучка, выдаваемого источником, который, в принципе, может практически не содержать в себе ионы водорода, а состоять только из примесей, образующихся из загрязнений. Для этого на испытательном стенде была построена система измерения спектра масс по времени пролета. В результате было обнаружено, что, в первые часы работы из источника вытягиваются, в основном, только ионы примесей, но потом картина меняется на противоположную.

Далее было определено время жизни такой титановой мишени. Без снижения тока отрицательных ионов водорода источник проработал более 20 часов.

Если учесть, что ускорительный комплекс должен работать в режиме инъекции сгустков ионов длительностью 100 мксек и частотой 10 Гц, ресурс мишени должен увеличиться в 500 – 1000 раз, что вполне приемлемо для работы комплекса.

Импульсный режим работы распылительного источника в Институте не исследовался и в литературе не обнаружен. Поэтому в настоящее время изготавливается модулятор тока цезия в источнике, после чего будет определено, способен ли источник работать в чисто импульсном режиме, или еще потребуется подпитка постоянным током.

В завершение предполагается провести измерение эмиттанса пучка.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. Г. Константинов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ПЕРЕЗАРЯДНОЙ МИШЕНИ УСКОРИТЕЛЯ

И. С. Емелев

Новосибирский Государственный Университет

Одним из способов лечения раковых опухолей является борнейтронозахватная терапия (БНЗТ). В настоящее время в ИЯФ СО РАН создаётся ускоритель-тандем для получения пучка протонов с энергией порядка 2 МэВ и током пучка порядка 10 мА. Одной из частей

такого ускорителя является перезарядная мишень, которая служит для обдирки ускоренных до 1 МэВ ионов H^{-1} до протонов. Перезарядная мишень представляет собой трубку длиной 44 см, заполненную аргоном. Для 99% обдирки пучка необходима линейная толщина $nL = 3 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Пучок отрицательных ионов водорода, ускорившись до 1 МэВ, достигает обдирочную трубку, где интенсивно ионизирует атомы аргона, что приводит к образованию плазмы. Образование плазмы приводит к появлению потоков вторичных заряженных частиц и УФ излучения, которые снижают электрическую прочность вакуумных зазоров ускорителя.

Для исследования возможности снижения потоков вторичных заряженных частиц и УФ излучения на стенде была смоделирована такая мишень. При обдирке иона H^{-1} до протона образуется два электрона с энергией 500 эВ, которые также участвуют в ионизации атомов аргона. Для создания плазмы с похожими параметрами на стенде пучок 1 МэВ ионов H^{-1} был заменен пучком электронов энергией 500 эВ. Для регистрации УФ излучения использовался ФЭУ. Получены зависимости ослабления пучка от расхода газа, и интенсивности излучения от расхода газа.

Следующим шагом работы будет отклонение пучка слабым магнитным полем для снижения плотности образующейся плазмы.

Научный руководитель – научный сотрудник ИЯФ СО РАН
А. С. Кривенко.

МОДЕРНИЗАЦИЯ MSE ДИАГНОСТИКИ НА УСТАНОВКЕ ГДЛ

К. Ю. Кириллов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Измерение магнитных и электрических полей в плазме методом анализа спектра и поляризации излучения зондирующего атомарного пучка является известным широко распространенным подходом. На установке газодинамическая ловушка (ГДЛ) была разработана спектральная диагностика для измерения $|B|$ в локальной области на основе динамического эффекта Штарка (Motional Stark Effect, MSE) [1].

Последующие эксперименты по изучению компактного пространственного распределения анизотропной плазмы с высоким давлением в ГДЛ [2], а так же эксперименты по изучению распределения плазмы в компактном пробкотроне, потребовали создания системы,

позволяющей измерять радиальный профиль магнитного поля и β плазмы за один «выстрел» в нескольких точках установки.

В работе описан диагностический комплекс, состоящий из атомарного инжектора RFX-DNBI [3] и системы регистрации излучения, имеющей восемь лучей наблюдения. Описаны начальные этапы по созданию второго диагностического комплекса с монохроматором большей светосилы, позволяющим получить в измерениях большее отношение сигнала к шуму.

1. P. A. Bagryansky, P. P. Deichuli, et.al., Measurements of the radial profile of magnetic field in the Gas-Dynamic Trap using a motional Stark effect diagnostic, Rev. of Sci. Instrum. 74, No. 3, 1592 (2003).

2. A. A. Ivanov, A. V. Anikeev, et. al., Experimental Evidence of High-Beta Plasma Confinement in an Axially Symmetric Gas Dynamic Trap, Phys. Rev. Lett. 90, No. 10, 105002 (2003).

3. П. П. Дейчули, С. А. Корепанов и др., Инжектор атомов водорода для активной штарковской спектроскопии плазмы, препринт ИЯФ СО РАН #2003-37 (2003).

Научный руководитель – А. А. Лизунов.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОСКОПИИ ВАКУУМНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЫ НА УСТАНОВКЕ ГОЛ-3

М. В. Колосов

Новосибирский государственный университет

Контроль плотности атомов и ионов основных примесей, их пространственного распределения и зарядового состояния является важной задачей при получении и удержании термоядерной плазмы в открытых ловушках и токамаках. Причина в том, что присутствие примесей в плазме приводит к увеличению $Z_{эфф}$, большим потерям энергии на излучение и уменьшению термоядерного выхода.

Одним из методов диагностики состава примесей плазмы является регистрация вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) излучения. Этот диапазон (50 – 250 нм) содержит яркие спектральные линии атомов и ионов углерода, лития и других примесей плазмы.

В связи с отсутствием материалов, прозрачных для ВУФ излучения, схема ВУФ спектрометра может содержать лишь отражающие элементы. Такой схемой является описанный в [1] монохроматор Сейя – Намиока.

Его преимущества: несложная кинематика для сканирования по спектру и пространственное разрешение вдоль спектральной линии.

В работе проделано проектирование и сборка вакуумной системы для регистрации ВУФ излучения поверхностной плазмы на установке ГОЛ-3 в Институте ядерной физики (г. Новосибирск). Цель применения диагностики – изучение динамики разлёта облака поверхностной плазмы, контроль пространственного распределения температуры и плотности примесей и их зарядового состава.

Проведено моделирование схемы ВУФ спектрометра в программе ZEMAX, исследовано пространственное разрешение, которое при используемых параметрах не хуже 5 мм. Подготовлен к работе детектор ВУФ излучения – электронно-оптический преобразователь. Проведены предварительные спектральные измерения и калибровка по длинам волн.

1. А. Н. Зайдель, Г. В. Островская, Ю. И. Островский, Техника и практика спектроскопии, Москва, 1972.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. В. Полосаткин.

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОНЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ В ПЛАЗМОИДЕ АНИЗОТРОПНЫХ ИОНОВ С ТЕРМОЯДЕРНЫМИ ЭНЕРГИЯМИ

М. С. Коржавина

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В работе представлены результаты по исследованию микронеустойчивостей в сгустке анизотропных ионов (SHIP) со средней энергией 10 кэВ и плотностью $\sim 4 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Плазмод создается в дополнительном («компактном») пробкотроне с полем 2.5 Т в центре и пробочным отношением ~ 2 , присоединенном к одной из сторон установки газодинамическая ловушка (ГДЛ) [1]. Для создания плотного сгустка сильно анизотропных ионов в компактный пробкотрон (КП), заполненный теплой проточной плазмой из центральной части ГДЛ, производилась инжекция сфокусированных атомарных пучков с энергией частиц 20 кэВ и суммарной мощностью более 1 МВт. Мощные атомарные пучки инжектировались в малый объем КП перпендикулярно направлению магнитного поля. В результате, функция распределения быстрых ионов была сильно анизотропна в фазовом пространстве с отношением $\langle E_{\perp} \rangle / \langle E_{\parallel} \rangle \sim 50$. Для определения типа и параметров развивающейся

микронеустойчивости была установлена система из 5-ти высокочастотных зондов, расположенных по азимуту в центре компактного пробкотрона, и одним зондом, установленном в расширителе на одной силовой линии с центральным зондом. Для обработки сигналов с зондов использовался корреляционный анализ.

Основной результат представленной работы – установление типа неустойчивости, а также определение порога ее возникновения и возможных способов стабилизации. Нахождение условий подавления неустойчивостей, вызванных сильной анизотропией функции распределения, имеет важное значение для удержания плазмы с термоядерными параметрами в открытых магнитных ловушках.

1. A. V. Anikeev, P. A. Bagryansky, A. A. Ivanov, A. A. Lizunov, S. V. Murakhtin, V. V. Prikhodko, A. L. Solomakhin and K. Noack «Confinement of Strongly Anisotropic Hot-ion Plasma in a Compact Mirror» *Journal of Fusion Energy* **26** (2007) p.103-107.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук П.А.Багрянский.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И ВРЕМЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ НЕЙТРОННОЙ ЭМИССИИ В МНОГОПРОБОЧНОЙ ЛОВУШКЕ ГОЛ-3.

А. С. Крыгина.

Новосибирский государственный университет,
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера.

На установке ГОЛ-3 в ИЯФ СО РАН проводятся эксперименты по нагреву и удержанию плазмы в многопробочной ловушке. При переходе к режимам с высокой температурой и длительным временем удержания горячей плазмы встал вопрос об ее исследовании по интенсивности нейтронной эмиссии. Для исследования явления, происходящих в процессе инжекции мощного релятивистского пучка в плазму, была разработана помехозащищенная диагностика интенсивности нейтронной эмиссии на основе комплекса локальных детекторов. Отдельный локальный детектор представляет собой пластмассовый сцинтиллятор с размерами $\varnothing 10 \times 50$ мм, соединенный со световодом $\varnothing 1$ мм и длиной около 60 м., соединенный другим концом с фотоумножителем. Детекторы устанавливались непосредственно вблизи вакуумной камеры, где поток

нейтронного излучения достаточно велик, при этом массивные катушки соленоида служат в качестве коллиматоров для жесткого излучения. Большое количество локальных детекторов, расставленных вдоль соленоида, позволяют наблюдать за особенностями нейтронной эмиссии с высоким временным и достаточным пространственным разрешением. Отчетливо прослеживается эволюция градиента ионной температуры вдоль соленоида, такая информация о поведении ионной компоненты необходима для поиска условий для увеличения энергетического времени жизни плазмы.

С помощью локальных детекторов изучается развитие неустойчивости баунс-колебаний в нескольких отдельных ячейках многопробочной ловушки. С целью проверки порогового характера возникновения данной неустойчивости необходимо провести сравнительный анализ параметров горячей плазмы в соседних ячейках многопробочной ловушки.

Научный руководитель – мл. науч. сотр. ИЯФ СО РАН Ю. С. Суляев.

ОДНОМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Д. В. Мещеряков

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Важным направлением плазменно-физических исследований является изучение физики пучково-плазменного взаимодействия. Некоторые из недавних результатов в этой области позволили, в частности, говорить об актуальности проблемы информативности кинетических плазменных исследований [1]: эксперименты в ИЯФ [2] и в университете Калифорнии [3,4] не подтвердили предполагавшихся в теории сценариев коллапса ленгмюровских волн [5,6]. Ввиду этого, для уточнения особенностей временных сценариев пучково-плазменного взаимодействия проводится численный эксперимент по одномерному моделированию взаимодействия нерелятивистского электронного пучка с холодной ионизованной плазмой.

Разработана и реализована легко масштабируемая программная база для моделирования решений систем дифференциальных уравнений, а также средства визуализации, позволяющие отображать развитие процесса во времени. Отслеживается динамика распределения плотностей плазменных и пучковых электронов, плотностей их тока, температуры плазменных электронов, электрического поля.

К настоящему моменту завершено гидродинамическое моделирование взаимодействия пучка и полубесконечной однородной электронной плазмы. В результате выявлено, что такая модель ввиду опрокидывания волновых фронтов имеет весьма малый временной интервал применимости, недостаточный для заключений об эволюции плазмы на характерных для лабораторных экспериментов масштабах времени. Для преодоления соответствующих ограничений проводится кинетическое моделирование рассматриваемого явления, уже позволяющее сделать ряд конечных заключений о поведении плазмы, а также сопоставить результаты с экспериментальными наблюдениями группы Вонга [3].

1. В. И. Ерофеев, Вестник НГУ, сер. «Математика, механика, информатика», 2006, Т. 6. С. 31-30.
2. Л. Н. Вячеславов и др., Письма в ЖЭТФ, 2002, Т. 75, С. 44.
3. A. Y. Wong, P. Y. Cheung, Phys. Rev. Lett. 1984, V. 52, P. 1222.
4. G. Benford, X. L. Zhai, Phys. Fluids B, 1993, V. 5, P. 1914.
5. V. I. Erofeev, Physics of Plasmas, 2002, V. 9, P. 1137.
6. V. I. Erofeev, Physics of Plasmas, 2004, V. 11, P. 3284.

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

ИЗУЧЕНИЕ ВЫХОДА D-D РЕАКЦИЙ В ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ЛОВУШКЕ

Е. И. Пинженин

Новосибирский государственный университет

На установке Газодинамическая ловушка (ГДЛ) ИЯФ СО РАН после значительной модернизации системы атомарных нагревных пучков (длительность увеличена до 5 мкс, энергия частиц до 25 кэВ, применена фокусировка пучков) продолжены эксперименты с инъекцией пучков дейтерия. Экспериментальные исследования необходимы для реализации проекта источника нейтронов с энергией 14 МэВ[1].

Для изучения распределений термоядерных реакций применялись датчики на основе сцинтиллятора и ФЭУ [2], датчики на основе PIN диодов, разработанных в ИФП СО РАН.

Датчики, состоящие из PIN диодов (диаметры рабочей области 8 мм и 20 мм) и токового усилителя, размещены внутри вакуумной камеры ГДЛ. Входные окна закрыты Al фольгой 10 мкм, которая защищает диоды от света и значительно уменьшает энергию ионов He³ и T; энергия протонов

при этом уменьшается незначительно. Отдельные 3.02 МэВ протоны регистрируются в виде токовых (4 мкА) импульсов длительностью 35 нс. Преимуществами полупроводникового детектора по отношению к сцинтилляционному на основе ФЭУ являются: лучшее энергетическое разрешение, нечувствительность к магнитным полям и сопутствующему нейтронному потоку.

Целью работы является изучение поперечных и продольных распределений выхода продуктов D-D реакций, сопоставление с результатами математического моделирования.

Получены следующие результаты: Вблизи точки останова на R=20 см получена плотность потока 3.02 МэВ протонов, а соответственно и 2.45 МэВ нейтронов $2.6 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$. Максимальный выход D-D реакции, по сравнению с предыдущими экспериментами, увеличился в 2 раза и составил $6.6 \cdot 10^8 \text{ см}^{-1}\text{с}^{-1}$. Общее количество генерируемых установкой нейтронов возросло в 10 раз и составило $2.3 \cdot 10^8$ за импульс. Полученный поперечный профиль потока 3.02 МэВ протонов показывает, что плотность выхода D-D реакций спадает в 2 раза на радиусе 4.5 см. Этот радиус не увеличился по сравнению с экспериментом с короткой инжекцией[2].

1. A. A. Ivanov, I. A. Kotelnikov, E. P. Kruglykov et al. In Proc. Of XVII Symp. on Fusion Technology, Rome, Italy, v.2 (1992) 1394.
2. V. V. Maximov et al., Nucl. Fusion 44 (2004) 542-547.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. В. Максимов.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЛАКСАЦИОННОЙ ИМПУЛЬСНОЙ МЕТОДИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ГИБЕЛИ АТОМОВ В ПЛАЗМЕ ХЛОРА НА ОБРАЗЦАХ АЛЮМИНИЯ

Д. С. Плотников, Н. С. Бабанова, М. Ю. Ивентичев
Ивановский государственный химико-технологический университет

Процессы плазмохимического травления в неравновесной низкотемпературной плазме хлора используются в технологии микроэлектроники. Травление металлов имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при его технологическом использовании. Например, алюминий и медь активно взаимодействуют с атомами хлора только при температурах образцов выше некоторой критической.

Продукты взаимодействия хлорной плазмы с металлами - хлориды, труднолетучи и образуют на поверхности обрабатываемого материала при низких температурах маскирующий слой. В связи с этим для достижения технологически приемлемых скоростей травления металла необходимо нагревание образца до температур выше 500К [1]. С другой стороны, при внесении в зону разряда металлов средняя концентрация атомов хлора в разряде уменьшается, что свидетельствует об более эффективной гибели атомов хлора в плазме в присутствии металлических образцов по сравнению с гибелью Cl на чистой стенке реактора. Данный факт позволил отработать методику измерений абсолютных значений вероятностей гибели атомов хлора на твердых металлических поверхностях с использованием спектральной релаксационной импульсной методики. Эксперименты проводились с пленками алюминия в плазмохимическом реакторе из молибденового стекла марки С-49.

В ходе выполнения работы: а) показана принципиальная возможность применения данной методики в варианте эмиссионной спектроскопии для контроля над временным ходом концентрации атомов хлора в разряде в присутствии металлических образцов; б) изучена кинетика гибели атомов хлора на образцах алюминия; в) экспериментально измерена вероятность гибели атомов хлора на алюминии ($\gamma=7 \cdot 10^{-2}$); г) на основе статистических данных по излучению атомарного хлора, собираемого с торца газоразрядной трубки с различной площадью образцов, оценена оптимальная загрузка плазмохимического реактора, при которой гибелью атомов хлора на стенке реактора можно пренебречь.

1. А. М. Ефремов, С. А. Пивоваренок, В. И. Светцов, Кинетика и механизмы плазмохимического травления меди в хлоре и хлороводороде, Микроэлектроника, т.36, №6, с. 409-417 (2007).

Научный руководитель – канд. хим. наук, доцент Д. В. Ситанов.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АТОМАРНОГО ПУЧКА ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

К. С. Салосин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Пучки быстрых атомов нашли широкое применение в методах диагностики плазмы в современных термоядерных установках. Однако,

измерение параметров самого атомарного пучка сопряжено с определенными трудностями, связанными как с нейтральностью, так и с высокой плотностью мощности в пучке. В связи с этим, актуальными являются бесконтактные методы диагностики пучков, основанные на измерении оптического излучения пучка.

Широко применяются методы диагностики пучка с использованием набора вторично-эмиссионных датчиков, калориметрические методы, а так же похордовое оптическое сканирование пучка. Большинство из них требует серии из нескольких хорошо повторяющихся выстрелов, поэтому особый интерес представляют методы определения параметров пучка в течение одного выстрела.

В работе рассматриваются два подобных подхода – видеосъемка пучка с помощью WEB-камеры (с последующей расшифровкой изображения), и оптическая многохордовая диагностика, основанная на обработке светового потока из области пучка линейкой фотоприемников с последующей передачей сигнала на многоканальный аналоговый регистратор [1]. К настоящему времени закончена работа над разработкой первой диагностики и проводится ее тестирование на пучках нагретых и диагностических атомарных инжекторов.

Для проверки достоверности результаты измерений предложенным методом сравниваются с данными о профиле и угловой расходимости полученными для пучков на тех же инжекторах другими, более традиционными диагностиками. Кроме того, полученные результаты сравниваются с данными, полученными численным моделированием параметров пучка.

Так же делается попытка исследовать яркостную и спектральную чувствительность регистратора измерений, и их влияние на достоверность метода.

1. В. С. Белкин, В. Г. Соколов, Ю. С. Храмов, Томографическое восстановление электронной температуры плазмы по излучению линии H_{α} на установке Амбал-М. ИЯФ 1998.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук П. П. Дейчули.

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА СО СКРЕЩЕННЫМИ ПОЛЯМИ

А. В. Сасин, А. А. Платонов

Карельский государственный педагогический университет

Разряд в скрещенных полях представляет значительный интерес в связи с возможностью его использования для получения тонких пленок. Несмотря на значительное число работ [1-3], посвященных исследованию этого типа разряда, физические процессы в нем недостаточно изучены.

В качестве объекта использовалась разрядная трубка, состоящая из двух коаксиальных электродов. Торцевые части закрывались плоскими электродами, которые соединялись внутренним электродом. В центре наружного цилиндрического электрода имелось отверстие, через которое в разрядный промежуток вводился подвижный цилиндрический зонд малого диаметра. Зонд был ориентирован перпендикулярно магнитному полю и мог перемещаться в радиальном направлении. Магнитное поле создавалось с помощью двух соленоидов.

Исследовался разряд гелия и неоне при давлении 0,5 Торр. Магнитное поле устанавливалось 15 и 20 мТл. Значение разрядного тока - 15-50 мА. Напряжение на разрядном промежутке при этом равнялось 200В.

Функция распределения электронов (ФРЭ) $f(eV)$ определялась по формуле Дрювестейна из измерений второй производной зондового тока по потенциалу зонда [4].

При измерении функции распределения определялись потенциалы пространства по нулевому значению второй производной зондового тока по потенциалу. Результаты этих измерений показывают, что в большей части пространства между электродами в неоне электрическое поле имеет величину 4,5-7,5 В/см. При обеих полярностях электродов наблюдается отрицательное анодное падение потенциала 4-6 В. Таким образом образуется потенциальная яма для электронов, соответствующих начальной части функции распределения [4]. В случае центрального электрода катода (ЦЭК) яма более глубокая (6 В), в ней оказываются электроны с более широким интервалом энергии. Следовательно, при ЦЭК в потенциальной яме заперто большее количество электронов, чем при центральном электроде катоде (ЦЭА). Это подтверждается измеренными значениями концентрации. Аналогичные результаты получены для разряда в гелии.

1. Yu. B. Golubovskii, I. A. Porokhova // J. Phys. D: Appl. Phys. 32 (1999) 2655-2665.

2. С. Д. Вагнер, О. Ю. Котельникова, В. П. Пядин // ЖТФ, том 59, в.8, 1989, 24-28.
3. С. Д. Вагнер, Б. В. Шляев // ЖТФ, том 48, в. 4, 1978, 675-680.
4. А. А. Платонов, А. Г. Слышов, С. Д. Вагнер, Л. Д. Цендин // ЖТФ, том 76, в. 7, 2006, 22-26.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ НА ПРОЦЕССЫ ТРАВЛЕНИЯ

Н. В. Ситников

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

В современной технологии травления при создании схем ультрабольшой интеграции (УБИС) очень важную роль играют анизотропия и высокая селективность. Для достижения этих целей используются источники плазмы с высокой степенью плотности. В таких источниках основная часть энергии электронов идет на возбуждение колебательных уровней молекул, причем возбуждаются преимущественно нижние уровни, образуя метастабильные состояния. Из этих состояний возможны излучательные переходы, разрешенные правилами отбора. Подобное излучение нежелательно влияет на процесс травления, повреждая поверхность обрабатываемого материала.

В данной работе показано, как влияет УФ-излучение плазмы на скорость травления и какие повреждения образцов оно вызывает. Для этого образец был отделен от плазмы защитной сеткой, что позволило минимизировать попадание химически активных частиц и ионов на поверхность и таким образом выделить и исследовать действие УФ-излучения плазмы. Травление проводилось в плазме аргона и гелия с добавлением газов-травителей NF_3 и CF_2Cl_2 (фреон-12).

Научный руководитель – канд. хим. наук Ф. Н. Дульцев.

ИСТЕЧЕНИЕ ПЛАЗМЫ ИЗ ГОФРИРОВАННОЙ ЛОВУШКИ В КИНЕТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Д. И. Сковородин
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Существующая теория [1] основана на квазигидродинамическом подходе. В ней получены уравнения на концентрацию и температуру плазмы, а также вычислены коэффициенты переноса, позволяющие замкнуть систему уравнений. Цель данной работы: используя кинетическое уравнение, вычислить функцию распределения в случае редких столкновений $\lambda \sim L$. Это позволит определить концентрацию, температуру, а так же потоки частиц, импульса и энергии.

Для решения задачи в кинетическом режиме, предлагается разделить её на две части: «локальную» задачу о нахождении функции распределения в одной ячейке гофрированного магнитного поля и «глобальную» задачу об изменении функции распределения вдоль длины ловушки.

Физически-корректными граничными условиями для локальной задачи являются функции распределения частиц влетающих в ячейку через пробки. В отсутствии столкновений, функция распределения переносится вдоль траекторий частиц без изменений, следовательно, имеет смысл выделить из неё часть, отвечающую переносу граничных условий:

$$F^{\pm}(s, \varepsilon, \mu) = F_0^{\pm}(s = \frac{l \mp l}{2}, \varepsilon, \mu) + f^{\pm}(s, \varepsilon, \mu)$$

Если функция нулевого приближения достаточно гладкая, то появляющаяся в силу столкновений поправка имеет первой порядок по малости частоты столкновений. Этот факт позволяет линеаризовать кинетическое уравнение и вычислить поправку к функции распределения в общем виде.

Решение локальной задачи позволяет сформулировать уравнение, описывающее изменение функции распределения вдоль ловушки. Для него следует поставить граничные условия, аналогичные условиям в локальной задаче. Уравнение имеет структуру уравнения Фоккера-Планка, что позволяет использовать стандартные методы [2] для его численного решения.

1. V. V. Mirnov, A. J. Lichtenberg, Multiple Mirror Plasma Confinement, Preprint BINP 91-116, Novosibirsk, Budker INP (1991).

2. J. Killeen et. al., Computational methods for Kinetic Models of Magnetically confined plasmas, Springer ser. in comp. phys. (1986).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. А. Д. Беклемишев.

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ МАГНИТНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПЛАЗМЫ В МНОГОПРОВОЧНОЙ ЛОВУШКЕ ГОЛ-3.

А. В. Судников

Новосибирский государственный университет
Институт ядерной физики СО РАН

Одним из распространённых методов исследования плазмы в ловушках разных типов является использование магнитных диагностик типа датчиков Мирнова [1]. Массивы подобных датчиков позволяют, как отслеживать проявления МГД активности в плазме, так и контролировать модовый состав возмущений магнитных поверхностей.

Представленная работа является развитием исследований [2], первые результаты которых докладывались на МНСК-XLV в 2007 году. Будут приведены новые результаты, касающиеся как измерений, проводившихся при помощи ранее созданного одноканального магнитного датчика (увеличение частоты оцифровки сигнала до 200 МГц и новые процедуры обработки), так и работа по конструированию и изготовлению многоканального датчика.

В ходе работ были разработаны и рассчитаны:

- конструкция многоканального малогабаритного азимутального зонда,
- алгоритмы восстановления формы сечения плазменного шнура по данным зонда, критерии их устойчивости,
- алгоритмы поиска и визуализации спектрального состава колебаний,
- проведена калибровка существующих диамагнитных датчиков.

Многоканальный датчик изготовлен, его монтаж внутри установки ГОЛ-3 запланирован после окончания текущей экспериментальной кампании. Конечной целью создания системы датчиков азимутального магнитного поля является идентификация причин возникновения различных типов МГД колебаний плазмы, наличие которых влияет на удержание плазмы в ловушке.

1. С. В. Мирнов. Зондовая методика измерения смещения токового шнура в цилиндрических и тороидальных камерах, Атомная энергия, т.17, вып.3, с.209 (сентябрь 1964)

2. В. В. Поступаев, А. В. Судников. Магнитная диагностика плазменных колебаний в многопроволочной ловушке ГОЛ-3. Вестник НГУ. Серия: Физика. 2007. Том 2, выпуск 3. Стр. 62-69.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. В. Поступаев.

ГРУППОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В ЛАВИННО-СТРИМЕРНОМ ПЕРЕХОДЕ

¹Х. Д. Ламажапов, ²Д. А. Рыбаков

¹Самарский государственный университет путей сообщения

²Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассматриваются вопросы моделирования структуры начальной стадии электрического пробоя газов с учетом развития случайного множества лавин с применением методов теории перколяции (протекания) [1]. Применение аппарата теории перколяции позволяет качественно описать процессы лавинно-стримерного перехода: оценить пробой, как процесс возникновения кластера, замыкающего промежуток, оценить скорость продвижения плазменного образования, а также топологические особенности образованного квазиплазменного объекта.

Для расчета была создана программа, позволяющая исследовать статические и динамические 3х мерные перколяционные кластеры. Показано, что в качестве индикатора типа процесса можно использовать фрактальную размерность кластера. При размерности 3 мы имеем почти непрерывное распределение элементов по объему и можем перейти к модели типа Таунсенда. При размерности 1 мы переходим к одностримерному пробую. Для промежуточных значений рассматривается многостримерный пробой.

В динамическом варианте модели рассматривается многостримерный пробой, обусловленный размножением фоновых электронов под действием внешнего поля. В воздухе при нормальных условиях присутствует 10^3 см^{-3} электронов, вызванных фоновым излучением. Под действием внешнего поля электроны размножаются и формируют лавины, которые сливаются и образуют стримеры. Рассмотрены вопросы влияния лавин и стримеров друг на друга. Моделирование показывает, что перколяционная модель может объяснить высокую скорость роста стримеров, предпробойные задержки и извилистую геометрию стримеров. А так же позволяет объяснить наличие лавинно-стримерного пробоя в случаях отсутствия фотоионизации. Произведено сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными [2].

1. Broadbent S. R., Hammersley I. M., Percolation processes. 1. Crystals and mazes. Proc. Camb. Phil. Soc., 1957, v. 53, p. 629.

2. Yi W. J., Williams P. F., Experimental study of streamers in pure N₂ and N₂/O₂ mixtures and a 13 cm gap //J. Phys. D.: Appl. Phys.2002. V.35.

Научные руководители - д-р техн. наук, проф. С. А. Прохоров, канд. физ.-мат. наук Х. Д. Ламажапов.

НЕЛИНЕЙНАЯ СТАДИЯ АЛЬФВЕНОВСКОЙ ИОННО-ЦИКЛОТРОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

И. С. Черноштанов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Альфвеновская ионно-циклотронная неустойчивость возникает в плазме с анизотропной функцией распределения ионов и конечным β . Неустойчивость наблюдалась в открытых ловушках [1] (2ХПВ, ТМХ и, возможно, в ГДЛ с ШИР) и приводила к ускоренной потере плазмы. В магнитосфере неустойчивость ограничивает анизотропию ионной функции распределения [2]. Подробно изучались критерии возникновения неустойчивости в рамках линейной теории [3] и численных моделей [4,2]. Для описания потери частиц нужен учет нелинейных эффектов. Описанию нелинейных альфвеновских волн посвящены работы в рамках гидродинамики или предполагающие малость β [5].

Цель данной работы – изучение модели, в которой возможно аналитическое описание существенно нелинейной задачи. В модели предполагается, что в однородной замагниченной плазме популяция быстрых ионов (возникающая в результате ионизации инжектируемых быстрых атомов) раскачивает альфвеновскую волну, распространяющуюся вдоль исходного магнитного поля. Резонансное взаимодействие с волной и торможение на электронах приводит к постепенному изменению питч-угла ионов и уходу в условный конус потерь. Важным фактом является то, что наличие винтовой симметрии делает уравнения движения заряженной частицы точно интегрируемыми [6]. Для функции распределения, выраженной через соответствующие интегралы движения, система уравнений Максвелла–Власова оказывается инвариантной относительно винтовой симметрии и приводит к алгебраическим соотношениям, связывающим функцию распределения с частотой, волновым вектором и амплитудой волны. Учет слабых столкновений позволяет получить самосогласованную функцию распределения, параметры волны и скорость потерь плазмы.

1. T. A. Casper, G. R. Smith, Phys.Rev.Let., V.48, №15, p.1015 (1982).
 2. A. Mangeney, R. Grappin, Geophys. Research Let., v. 30, ssc13-1 (2003).
 3. D. C. Watson, Phys. Fluids, v. 23, № 12 (1980).
 4. T. Tajima, K. Mima, J. M. Dawson, Plasma Review Let., v39, №4 (1977).
 5. A. Hasegawa, K. Mira, Phys.Rev.Let., V37, N11 (1976)
 6. Д. А. Панов, А. В. Тимофеев, Физика Плазмы, т. 21, № 12 (1995).
- Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Ю. А. Цицулко.

ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

СИЛЬНО-СЛАБАЯ МОДЕЛЬ ЭФФЕКТОВ ВСТРЕЧИ НА НАКОПИТЕЛЕ ВЭПП-2000

А. С. Валькович

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

Успешно введенный в эксплуатацию электрон – позитронный накопитель ВЭПП-2000 [1, 2] имеет своей главной целью экспериментальную отработку режима круглых встречных пучков [3]. Поэтому изучение эффектов встречи на новом коллайдере является весьма актуальной задачей.

Результаты теоретических работ [3] и численного моделирования эффектов встречи позволяют надеяться на получение высокой светимости с круглыми встречными пучками и существенно превзойти пределы, налагаемые на светимость эффектами встречи в традиционной схеме с плоскими пучками. Целью работы является численное и экспериментальное исследование эффектов встречи в “weak-strong” модели. Кроме этого, следует произвести анализ уравнений на самосогласованные β – функции в предположении о линейной зависимости динамического эмиттанса от ξ (параметр встречи). Эти уравнения дают информацию о границе области существования “flip-flop” решений, что представляет практический интерес.

В работе приводятся результаты численного моделирования зависимости эмиттанса и размеров пучка в месте встречи от силы встречного тока. К настоящему времени на установке проведены измерения параметров пучков в сильно-слабой модели. Следует отметить, имеется заметный вклад от нелинейной части силы со стороны встречного пучка. Однако эксперимент до известной степени точности адекватно описывается линейным приближением.

1. Yu.M.Shatunov et al., “Project of a New Electron-Positron Collider VEPP-2000”, in: Proc. 7th European Particle Accelerator Conf. (EPAC 2000), Vienna, Austria, 439-441 (2000).

2. E.A.Perevedentsev et al., “Round Colliding Beam Activities at BINP”, in: Proc. ICFA Workshop on Performance Improvement of Electron-Positron Collider Particle Factories, Tsukuba (1999), KEK Proc. 99-24, p.202-208.

3. V.V.Danilov et al., "The Concept of Round Colliding Beams", in: Proc. 5th European Particle Accelerator Conf. EPAC96, Sitges (Barcelona, Spain), June 10-14 1996. Eds. S.Myers et al., Inst. of Phys. Publ., Bristol and Philadelphia, 1996, v.2, p.1149-1151.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ю. М. Шатунов.

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ НАСТЕННОГО ТОКОВОГО ДАТЧИКА ГЛАВНОГО ИНЖЕКТОРА ФЕРМИЛАБ

И.К. Кабардин

Новосибирский государственный университет

Работа проводилась во время прохождения летней практики в отделении главного инжектора Национальной Ускорительной Лаборатории им. Ферми (Фермилаб, США). Целью работы являлось создание программы обработки экспериментальных данных настенного токового датчика, обеспечивающей визуализацию и удобный контроль параметров пучка.

Программа обрабатывает данные со стенного токового датчика. Данные хранятся в виде 250 осциллограмм по 100 тыс. точек в каждой. Период осциллограммы 11.13 мкс. Сигнал состоит из ряда пиков напряжения на фоне среднего значения. Задача сводится к измерению полуширины пика на полувысоте. Осциллограммы обрабатываются поочередно. На первом шаге вычисляется фоновое значение напряжения и вычитается из осциллограммы. Затем вычисляется максимум каждого пика. В окрестности максимума выбирается исследуемая область. В исследуемой области ширина пика вычисляется либо подгонкой гауссовой функцией методом χ^2 , либо по критерию среднеквадратичного отклонения. До проведения настоящей работы вычисление ширины пика производилось методом χ^2 с погрешностью 5 % за 22 часа. В результате проведенной работы и использования алгоритма на основе среднеквадратичного критерия была достигнута скорость полного цикла обработки данных 12 секунд.

Верификация полученных данных производилась на основе вычисления оценки значения гаммы перехода. Типичное экспериментальное значение, полученное при помощи разработанной программы, равно $21.6 \cdot 10^{10}$ eV/c и хорошо согласуется с известным

значением с погрешностью порядка 5%.

Разработанная программа вошла в программный комплекс по исследованию процесса Slip Stacking главного инжектора Фермилаба. С помощью программы показано, что резонаторы главного инжектора не влияют друг на друга при ускорении пучка. Выполнено сравнение результатов экспериментов с результатами моделирования. Различие составило менее 15%.

1. S. Shukla et al, "Slip Stacking in the Fermilab Main Injector."// Snowmass'96, June 1996.

Научный руководитель – д-р тех. наук, в.н.с. В.Г. Меледин.

CSI КАЛОРИМЕТР ДЕТЕКТОРА КМД-3

Д. А. Мильштейн

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Для экспериментов на строящемся в ИЯФ накопителе ВЭПП-2000 создается детектор КМД-3. Основной задачей детектора является прецизионное измерение полного и парциального сечений e^+e^- аннигиляции в адроны в области энергии до 2 ГэВ в системе центра масс и детальное изучение динамики рождения адронов в этой области энергии.

Одной из основных систем детектора является калориметр на основе сцинтилляционных кристаллов CsI, предназначенный для измерения энергии заряженных частиц и γ -квантов, а также идентификации заряженных частиц. Кроме того, сигналы, поступающие с калориметра, используются для формирования сигнала запуска детектора. Калориметр состоит из 8 октантов, в каждом из которых содержится 9 модулей. Каждый модуль собран из 16 счетчиков на основе кристаллов CsI размером $6 \times 6 \times 15$ см³. Сцинтилляционный свет с кристалла регистрируется полупроводниковым фотодиодом, соединенным с зарядочувствительным преусилителем (ЗЧПУ). Выходные сигналы ЗЧПУ поступают на входы усилителей-формирователей-оцифровщиков, собранных по 32 канала на плате УФО-32, разработанной в ИЯФ.

В задачи настоящей работы входили: разработка процедуры измерения и контроля основных характеристик модулей, изучение параметров усилителя-формирователя-оцифровщика УФО-32, оперативная проверка работоспособности собранных октантов калориметра,

тестирование системы сбора данных «Малинка», разработка процедуры калибровки калориметра посредством регистрации энерговыделения космических частиц в калориметре.

К настоящему времени измерены шумовые характеристики и световой выход всех 1152 каналов калориметра. Все 8 октантов калориметра собраны, 3 из них установлены на детекторе. Система сбора данных «Малинка» опробована в работе, получены первые результаты. Шумовые характеристики платы соответствуют проекту.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Б. А. Шварц.

ХАРАКТЕРИСТИКИ КООРДИНАТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ГЭУ ДЛЯ СРРЭ КЕДРА.

Э. В. Усов

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 завершается создание системы 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, 4-х кварковые состояния). Система является уникальной, поскольку позволяет регистрировать оба рассеянных электрона (так называемая система двойного таггирования), вылетевших из места встречи, и измерять с хорошей точностью их поперечную координату, необходимую для восстановления импульса.

СРРЭ на основе дрейфовых трубочек была создана еще в середине 90-х годов, однако существующего пространственного разрешения в 300мкм и однокоординатного съема сигнала оказалось недостаточно для работы. Поэтому было предложено модернизировать систему, добавив детекторы на основе тройного газового электронного умножителя (ГЭУ) с двухкоординатной считывающей структурой.

В настоящей работе представлены результаты измерения пространственного разрешения и эффективности на космических мюонах, а также первые данные, полученные на ВЭПП-4М. Измеренного на космике пространственного разрешения в 70мкм и эффективности в 90% должно быть достаточно для успешной работы СРРЭ на ускорителе.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, Л. И. Шехтман.

КАЛИБРОВКА ИОНИЗАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ В ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЕ СФЕРИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛЬНОГО ДЕТЕКТОРА

Е. Г. Цуканова

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Распределение ионизационных потерь в дрейфовой камере играет важную роль для решения задачи идентификации частицы. В первом приближении распределение ионизационных потерь описывается спектром Ландау, однако при фитировании реального экспериментального спектра оказывается, что Ландау не описывает распределение с достаточной точностью.

В работе распределения ионизационных потерь фитируются функциями, содержащими три дополнительных параметра, кроме наиболее вероятного значения и ширины: асимметрию вершины и поведения правого и левого «хвостов».

В дрейфовой камере СНД имеются 9 слоев, т.е. для каждой пролетающей частицы есть 9 измерений ионизационных потерь. Спектры для каждого из слоев описываются одной и той же функцией, но с различными параметрами. Параметры наиболее вероятное значение и ширина имеют характерные зависимости от энергии.

Используя эти зависимости от энергии, можно построить функцию правдоподобия, которая будет учитывать форму распределения ионизационных потерь в каждом из слоев и будет зависеть только от энергии налетающей частицы. Сравнивая энергию частицы, найденную методом максимального правдоподобия с энергией, полученной из реконструкции, можно определить вероятность того или иного процесса.

Целью дипломной работы является написать программу, определяющую вероятность того, что частица принадлежит к данному сорту (К, п).

Научный руководитель – А. Г. Харламов.

АЭРОФИЗИКА И НЕРАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ НАНОКЛАСТЕРОВ В ПЕРЕСЫЩЕННОМ ПАРЕ

С. В. Базалийский

Институт теоретической и прикладной механики

им. С. А. Христиановича СО РАН

Новосибирский государственный университет

Понимание процесса гомогенной нуклеации атомных и молекулярных газов очень важно для различных областей: от исследования атмосферных явлений до процессов производства различных веществ. С точки зрения термодинамики все свойства межфазной поверхности могут быть полностью охарактеризованы путем добавления в термодинамические функции состояния поверхностного натяжения. В классической термодинамике, в частности в теории капиллярности Гиббса, предполагается, что влияние размера кластера на поверхностное натяжение незначительно вплоть до очень малых размеров кластеров [1]. В то же время современные экспериментальные данные, полученные при рассмотрении систем с наноразмерами, противоречат этому предположению классической теории и указывают на существенное отличие коэффициента поверхностного натяжения от константы для частиц радиусом несколько нанометров [2]. В связи с этим представляется актуальным исследование процесса нуклеации методом молекулярной динамики.

В работе с помощью метода молекулярной динамики изучались термодинамические характеристики жидких нанокластеров в перенасыщенном паре аргона. В качестве межмолекулярного потенциала частиц был взят потенциал Ленарда-Джонса. Подсчитан профиль плотности и внутренней энергии, а также нормальная и тангенциальная компоненты тензора напряжений как функции расстояния от центра кластера в широком интервале температур и размеров кластера. На основе этих данных рассчитаны коэффициент поверхностного натяжения и поверхностная энергия кластера в зависимости от температуры и радиуса кривизны поверхности.

1. Роулинсон Дж., Уидом Б, Молекулярная теория капиллярности: пер. с англ.-М.:Мир, 1986.-376 с., ил.

2. Onischuk A.A., Purtov P.A., Baklanov A.M., and Karasev V.V., J. Chem. Phys 124, 014506 (2006).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, А. В. Болеста.

УСТОЙЧИВОСТЬ УПРУГО-ПЛАСТИЧНО-ВЯЗКИХ ПОРШНЕВЫХ СТРУКТУР В ПЕРЕМЕННЫХ СИЛОВЫХ ПОЛЯХ

Д. Н. Бебихов

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

В настоящее время существует значительный интерес к прикладным задачам топливной и энергетической промышленности, в которых исследуются оптимальные режимы транспортировки продукта со сложными реологическими свойствами. Во многих приложениях возникает необходимость в транспортировке топливного поршня на заданное расстояние, в результате чего структура поршня бывает полностью (инжекция гелеобразного ракетного топлива в камеру сгорания) либо частично (транспортировка нефтепродуктов) разрушена. Таким образом, становятся актуальными исследования устойчивости жидкообразных поршневых структур в зависимости от режима транспортировки.

При транспортировке упруго-пластично-вязкого поршня под действием внешних сил возможны различные механизмы разрушения его структуры. Во-первых, это сдвиговая неустойчивость структуры поршня, обусловленная относительным движением его слоев. Во-вторых, на свободных границах жидкого поршня всегда существуют микровозмущения, которые при определенных условиях могут неограниченно развиваться, трансформируясь в струйные течения, приводящие к разрушению поршня. И, наконец, в поле растягивающих напряжений происходит рост кавитационных зародышей, развитие неограниченной пузырьковой кавитации, формирование пенной структуры, разрушаемой капиллярными силами.

В работе исследованы стационарный и нестационарные режимы транспортировки упруго-пластично-вязкого поршня конечного объема со свободными границами в цилиндрическом канале. Топливный продукт со сложными реологическими свойствами заменен в исследовании модельной упруго-пластично-вязкой средой с известными реологическими параметрами. Исследованы механизмы и построены критерии: структурной неустойчивости среды вследствие сдвигового деформирования; рэлей-тейлоровской неустойчивости, вызванной ускорением поршня, а также исследуется кавитационная неустойчивость среды в зоне растягивающих напряжений.

Научный руководитель - д-р физ.-мат. наук С. В. Стебновский.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЫ В ПАРОВОМ КАНАЛЕ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ МЕТАЛЛОВ

Д.В. Беденко

Новосибирский государственный университет

При взаимодействии мощного лазерного излучения с веществом могут возникать различные эффекты, приводящие к образованию плазмы в паровом канале при сварке или резке материалов. В связи с этим, в работе предпринимается попытка в определении эффекта от влияния плазмы на распределение энергии в этом канале.

В настоящей работе построена математическая модель, описывающая процессы образования плазмы на парах металла и её распространения в паровом канале, процесс переноса излучения. В модели плазма полагается низкотемпературной ($T_{\text{электр}} \sim 1-2$ эВ) и плотной, основным источником поглощения лазерного излучения являются электроны. В связи с чем, представляется разумным для её описания использовать одножидкостную двухтемпературную модель в рамках МГД-теории. Кроме того, в плазме существенную роль играет эффект переизлучения, что предполагает решение сопряженных уравнений газовой динамики и уравнения переноса излучения. На первых этапах плазма может быть существенно неравновесной, что приводит к необходимости рассмотрения в ней кинетических реакций. Преобладающими из них можно назвать процесс ионизации электронным ударом и трехчастичную рекомбинацию.

Система одномерных газодинамических уравнений для тяжелых частиц решалась методом Годунова. Решение уравнений неразрывности, энергии электронов и уравнения переноса излучения производилось по неявной разностной схеме с использованием трехточечной прогонки с итерациями по нелинейным коэффициентам. На открытой границе канала задается свободное истечение газа. Граничные условия вычисляются методом характеристик.

С помощью данной модели производится оценка влияния плазмы на распространение излучения в парогазовом канале, исследуется процесс её образования. Показано, что наличие плазмы приводит к существенному перераспределению плотности излучения в канале.

Практическая ценность данной работы заключается в прогнозировании характерных физических параметров, определяющих процесс.

Научный руководитель – д-р физ.-мат.наук, проф. О.Б.Ковалев.

УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ ЗВУКОВОГО УДАРА ПУТЕМ КРИОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС ОБТЕКАНИЯ

Т.А. Бобарькина

Институт теоретической и прикладной механики

им. С. А. Христиановича СО РАН

Новосибирский государственный университет

Результаты исследований по снижению уровня звукового удара традиционными методами показали невозможность обеспечения для широкого класса сверхзвуковых самолетов допустимого перепада давления – 50 Па на головной ударной волне (УВ) без снижения аэродинамического качества летательного аппарата (ЛА). Ограниченные возможности традиционных (пассивных) методов стимулируют разработку активных методов управления параметрами звукового удара (ЗУ) (подвод массы и энергии, отвод энергии) [1]. Основные способы снижения уровня ЗУ заключаются в реализации эффектов средней зоны ЗУ. Носовая часть ЛА в виде модифицированного с помощью сферического затупления степенного тела вращения, обеспечивающая минимальное сопротивление, позволяет за счет эффекта затупления существенно снизить интенсивность головной УВ [2]. Область минимизации (средняя зона) при этом ограничена взаимодействием головной УВ с висячей УВ, формирующейся при обтекании тела. Для получения необходимой протяженности средней зоны проведены экспериментально - расчетные исследования по влиянию распределенного выдув хладгента с поверхности тела на формирование висячей УВ. Показано, что криогенное воздействие позволяет затянуть момент взаимодействия головной УВ с висячей УВ до удалений свыше 6000 калибров, обеспечивая при этом снижение интенсивности головной УВ более 40%. Основными механизмами воздействия, предположительно, являются формирование контактной поверхности слоем переохлажденного газа в области зарождения висячей УВ и снижение скорости распространения возмущений внутри этого слоя.

1. Фомин В. М, Харитонов А. М., Чиркашенко В. Ф., Волков В. Ф.. Управление уровнем звукового удара путем криогенного воздействия на процесс обтекания летательного аппарата. Препринт № 5 – 2007 ИТПМ СО РАН, Новосибирск, 2007, С 40.

2. Чиркашенко В.Ф., Юдинцев Ю.Н. Параметры ударных волн от тел вращения в однородной атмосфере.// Известия СО АН СССР, серия технических наук, Вып.3, 1984, С. 16-21.

Научный руководитель – канд. техн. наук В. Ф. Чиркашенко.

ПРЯМОЕ ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ГАЗОВОГО ПОТОКА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫМ МЕТОДОМ

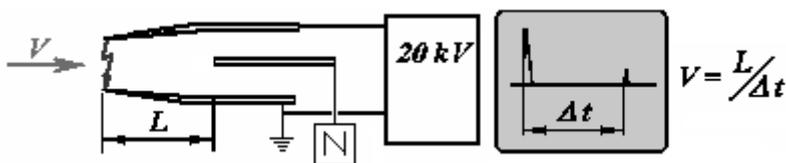
М. А. Бондарь
Новосибирский государственный университет
Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН

В настоящее время существуют различные способы измерения скорости потока газа. Особое место занимают времяпролётные методы, которые основаны на наблюдении движения мелких частиц в потоке, несущих информацию о скорости.

Одним из времяпролётных методов является метод электроискрового трассирования (ЭИТ). Метод основан на регистрации перемещения меток в виде ионизованной плазмы, создаваемых в газовом потоке с помощью высоковольтных разрядов. Явными преимуществами метода ЭИТ являются безынерционность частиц (молекул, ионов) и отсутствие явного ограничения диапазона измеряемых скоростей.

Сложность метода заключается в необходимости оборудования для генерации высоковольтных импульсов с высокой частотой повторения и громоздкой оптической аппаратуры для регистрации. Поэтому было предложено использовать одиночный разряд, время движения которого на определённом расстоянии регистрируется датчиком. В этом случае реализация способа измерения существенно упрощается.

Было создано и настроено оборудование для осуществления предложенного метода: генератор высоковольтных импульсов, устройство запуска, датчики ионизованного газа.



Для регистрации времени пролёта использовался цифровой осциллограф на базе ПК. Работа аппаратуры отлажена на скоростях до 150 м/с, получена среднеквадратичная погрешность в серии измерений 5%.

Предполагается использовать метод в гиперзвуковых потоках со скоростями ~ 2000 м/с.

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

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ УСКОРИТЕЛЬ ДЛЯ ИНИЦИИРОВАНИЯ ГОРЕНИЯ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ

А. И. Голубов

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

Работа посвящена вопросам плазменного инициирования горения в сверхзвуковом потоке. Основные способы плазменного воздействия на активную смесь реагентов в сверхзвуковом потоке представлены в обзорной работе [1]: дуговые, искровые разряды, в работе [2] представлен СВЧ-разряд. В работе [3] предложен метод инициирования горения посредством инъекции плазменного сгустка в поток. Плазменная струя генерируется рельсовым электродинамическим ускорителем (РЭУ). Цель данной работы – исследовать процессы в РЭУ и найти диапазон параметров генерируемой им плазмы. В соответствии с целью построена установка, состоящая из вакуумной камеры и сопряженного с ней РЭУ. Канал РЭУ имел сечение 10x12 мм и длину 90 мм. Для питания РЭУ использовался накопитель энергии емкостью 6,6 мкФ и номинальным напряжением 25 кВ. Эксперименты проводились при начальном напряжении разряда 23 кВ и давлении рабочего газа в камере от 0 до 0.2 бар. Были отлажены методики фоторегистрации процесса ускорения и регистрации спектра плазменного сгустка при помощи фоторегистраторов (СФР, ВФУ-1). Получены зависимости тока и напряжения разрядки через ускоритель от времени, а также фоторазвертка процесса ускорения вдоль канала ускорителя. Получены фоторазвертки вдоль оси канала рельсотрона при выходе плазменного сгустка из канала в камеру. Получены фоторазвертки поперек оси канала в различных сечениях, на выходе из ускорителя. Получена фоторазвертка спектра излучения плазмы внутри канала ускорителя. Определены скорости переднего фронта плазменного сгустка внутри и вне канала ускорителя. Определена скорость расширения плазменного сгустка в камере и ее характерные размеры.

1. S. M. Starikovskaia, Plasma assisted ignition and combustion, J. Phys. D: Appl. Phys. 39 (2006) R265–R299.

2. В. М. Шибков, А. Ф. Александров и др., Воспламенение сверхзвукового потока углеводородного топлива с помощью СВЧ-разрядов, Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2004, №5.

3. S. S. Katsnelson, G. A. Pozdnyakov, Initiation of the chemical processes under the action of an impulse high-enthalpy plasma stream, Proceedings of the 8th ISAIIF.-2007, Paper reference: ISAIIF8-0017.

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

ПРОЦЕССЫ РАСТВОРЕНИЯ И ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ ЗА УДАРНОЙ ВОЛНОЙ В ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СРЕДЕ

Е. В. Донцов

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

Одним из важных факторов изменения климата на Земле является увеличение концентрации двуокиси углерода в атмосфере Земли. С ростом промышленного производства в России темпы роста выбросов углекислого газа в атмосферу в ближайшее время достигнут значительных величин, и станет проблема их уменьшения в соответствии с решением Киотского Протокола. В настоящее время предлагаются различные технологии утилизации углекислого газа. Одним из перспективных способов утилизации является перевод газа в газогидратное состояние и хранение на дне океана при пониженной температуре и высоком статическом давлении.

Данная работа посвящена изучению процессов растворения и гидратообразования за ударной волной умеренной амплитуды в воде с пузырьками углекислого газа при различных начальных статических давлениях. Показано, что увеличение статического давления в среде для одинаковых относительных амплитуд волн приводит к увеличению скоростей гидратообразования и растворения газа в жидкости. Основным механизмом увеличения скоростей растворения и гидратообразования с ростом статического давления для одинаковых относительных амплитуд волн является уменьшение размера раздробившихся газовых пузырьков и увеличение межфазной поверхности [1].

В данной работе также исследуется влияние нереагирующего газа азота на процессы растворения и гидратообразования углекислого газа. Показано, что увеличение статического давления в газожидкостной среде приводит к увеличению влияния нереагирующего газа азота на процессы растворения и гидратообразования углекислого газа [2].

1. В.Е. Донцов, А.А. Чернов, Е.В. Донцов. Ударные волны и образование гидрата углекислого газа при повышенном начальном давлении в газожидкостной среде// Теплофизика и аэромеханика. -2007.- Т.14, №1.- С. 23-46.

2. В.Е.Донцов, В.Е.Накоряков, Е.В.Донцов. Процессы гидратообразования и растворения за ударной волной в жидкости с пузырьками из смеси азота и углекислого газа// ЖПМТФ.- 2008 (принято в печать).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, В. Е. Донцов.

ЛАЗЕРНЫЙ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ ФОТОМЕТР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НЕФТЕВОДОЭМУЛЬСИОННЫХ ПОТОКОВ

И.А. Елисеев, И.К. Кабардин
Новосибирский государственный университет

Измерения содержания нефти в водонефтяных эмульсиях являются важной частью проблемы создания многофазного нефтяного расходомера для скважинного учета нефтепродуктов. Известные в настоящее время методы мгновенного мониторинга обводненности нефти не удовлетворяют современным требованиям и заданным параметрам точности [1].

Для определения обводненности нефти был разработан лазерный флуоресцентный фотометр, позволяющий производить измерения в потоке в реальном времени. Принцип действия фотометра основан на явлении переизлучения нефтью света в область спектра, отличную от частоты вынуждающего излучения. Концентрация нефти в водонефтяной эмульсии рассчитывается по соотношению интенсивностей вынуждающего и переизлученного света.

Проблемой оптических методов является загрязнение скважинным флюидом прозрачной поверхности, непосредственно контактирующей с потоком. В работе эта проблема решена вынесением эффективного измерительного объема за оптическую границу раздела вглубь нефти и оптической спектральной и триангуляционной пространственной фильтрацией. Это оказалось возможным за счет использования новейшей элементной базы – полупроводниковых 10 мВт лазеров зеленого диапазона с длиной волны $\lambda=532$ нм (также были опробованы мощные 200 мВт ультрафиолетовые светодиоды) и лавинных фотодиодных приемников.

С помощью созданного лазерного флуоресцентного фотометра были проведены стендовые эксперименты по определению содержания нефти в водонефтяных эмульсиях. Продемонстрирована длительная работоспособность фотометра в диапазоне обводненности 0-90%. Погрешность измерений составила менее 10%, и может быть уменьшена совершенствованием конструкции прибора. Достигнута договоренность об опробовании разработанного лазерного флуоресцентного фотометра в составе измерительного комплекса для диагностики нефтеводоэмульсионных потоков на промысловых испытаниях в компании ТНК-ВР (Тюмень).

1. Дробков В.П., Лабутин С.А. Методы и средства измерения влажности нефти (обзор). // Датчики и системы. – 2002. – № 11. – С. 23-27.
Научный руководитель – д-р тех. наук, в.н.с. В.Г. Меледин.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ РЕЖИМОВ ТЕЧЕНИЯ ПЛЕНКИ ЖИДКОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКА

И.К. Кабардин, И.А. Елисеев
Новосибирский государственный университет

Необходимость изучения волновых режимов текущей пленки жидкости на вращающихся поверхностях связана с интенсификацией процессов тепломассообмена и возникает при проектировании турбомашин и технологических аппаратов [1]. Целью работы было создание метода для экспериментальных исследований волновых режимов течений и измерения поля толщин пленки жидкости на поверхности вращающегося диска.

Создана экспериментальная установка, реализующая течения пленки по поверхности вращающегося диска с частотой вращения диска (0.1-1.2 Гц) и расходом жидкости (1-4 мл/с). Подача жидкости осуществлялась в центральную область диска. Для визуализации течения теневым методом была разработана перспективная методика с использованием стандартного офисного LCD проектора. Отраженное от поверхности пленки оптическое излучение, несущее информацию о волнах на поверхности пленки, регистрировалась цифровым фотоаппаратом и программно обрабатывалась на компьютере. Частота вращения диска контролировалась герконовым датчиком и периодометром.

Для восстановления поля толщин пленки жидкости был развит фотометрический метод, основанный на поглощении света веществом, растворенным в жидкости.

Выполнены экспериментальные исследования различных режимов течения пленки жидкости по вращающемуся диску: невозмущенного, течения с образованием концентрических волн и течения с образованием спиральных волн. Установлено, что спиральные волны неподвижны в лабораторной системе отсчета. Проведена калибровка фотометрического метода. Показано, что погрешность измерения не превышает 5%. Построена карта режимов течений. Восстановлено поле толщины слоя, позволившее классифицировать волновые режимы течения пленки жидкости на поверхности вращающегося диска в заданных интервалах параметров.

1. Matar O.K, Sisoiev G.M., Lawrence C.J. The flow of the liquid films over spinning discs. The Canadian journal of chemical engineering. Vol.84. - 2006. - p. 625-641

Научный руководитель – д-р тех. наук, в.н.с. В.Г. Меледин.

ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ДИАГРАММ ПУЛЬСАЦИЙ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ В БИНАРНЫХ СЖИМАЕМЫХ СМЕСЯХ

И. В. Казанин

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

Термоанемометрия широко применяется для измерения пульсаций и средних характеристик потока в сжимаемых и несжимаемых течениях. Во многих практических приложениях имеется необходимость измерения пульсаций параметров в двух- и более компонентных смесях газов, различающихся термодинамическими характеристиками.

Целью данной работы было исследовать влияние концентрации на коэффициенты чувствительность датчика термоанемометра и диаграммы пульсаций (ДП) соответственно. Исследование проводилось на примере двухкомпонентной смеси воздух-водород, но предлагаемый подход применим и для других типов смесей. Были выполнены расчеты коэффициентов чувствительности термоанемометра к массовому расходу F и температуре торможения G для двухкомпонентной смеси воздух-водород. На основе полученных данных построены ДП для вихревой и энтропийной моды пульсаций интенсивностью 1% в зависимости от концентрации c , см. (рис.1). Из рисунка видно, что с ростом концентрации положение вершины ДП для вихревой моды смещается в сторону малых значений относительного коэффициента чувствительности r , в то время как для энтропийной моды вид ДП остается практически неизменным.

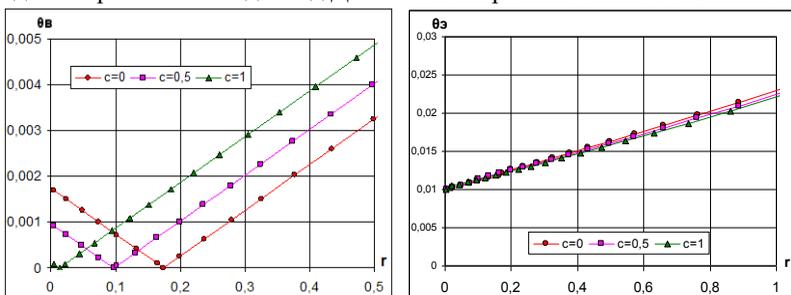


Рис.1. Зависимость вихревой и энтропийной мод пульсаций от концентрации c .
Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 06-08-01412-а.

1. Лебига В.А. Термоанемометрия в сжимаемых потоках. Новосибирск. 1997г.
2. Пак А.Ю. Тензочувствительность датчика термоанемометра. Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент В. Н. Зиновьев.

ПРЯМОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ В ГИПЕРЗВУКОВОМ УДАРНОМ СЛОЕ

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

При движении летательного аппарата с большой скоростью в верхних слоях атмосферы течение на значительной части поверхности аппарата реализуется в виде вязкого ударного слоя. Исследование развития возмущений и понимание механизмов неустойчивости вязкого ударного слоя является необходимым условием разработки эффективных методов управления ламинарно-турбулентным переходом при гиперзвуковом обтекании летательных аппаратов.

В работе проведено прямое численное моделирование (ПЧМ) развития возмущений в вязком ударном слое на плоской пластине для больших чисел Маха 21, 16 и 12 и умеренных чисел Рейнольдса $Re_L = 1,44 \cdot 10^5$. ПЧМ было выполнено путем решения уравнений Навье-Стокса с помощью схем сквозного счета высокого порядка [1]. Сначала производился расчет стационарного течения. Затем решалась задача о взаимодействии вязкого ударного слоя с внешними акустическими возмущениями, распространяющимися вдоль направления потока. Результаты моделирования верифицированы путем сопоставления с результатами измерений в гиперзвуковой аэродинамической трубе ИТПМ СО РАН.

Выполнено параметрическое исследование характеристик поля возмущений при вариации угла распространения и частоты внешних акустических возмущений. Показано, что основной особенностью механизма формирования поля пульсаций плотности при взаимодействии ударного слоя с внешними акустическими возмущениями является генерация и распространение внутри ударного слоя энтропийно-вихревых возмущений. Это подтверждает и анализ с помощью линейной теории взаимодействия плоских волн с УВ [2].

1. А.Н. Кудрявцев, С.Г. Миронов, Т.В. Поплавская, И.С. Цырюльников, Экспериментальное исследование и прямое численное моделирование развития возмущений в вязком ударном слое на плоской пластине, ПМТФ Т. 47, 3(2006).

2. J.F. McKenzie, K.O. Westphal, Interaction of linear waves with oblique shock waves, Phys. Fluids 1, 11(1968).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПУЛЬСАЦИЙ В УДАРНОМ СЛОЕ

И. А. Козулин

Институт теоретической и прикладной механики

им. С. А. Христиановича СО РАН

Новосибирский государственный университет

Управление интенсивностью пульсаций в гиперзвуковом ударном слое на телах, движущихся со сверхзвуковой скоростью в атмосфере, является важной проблемой современной аэродинамики. Одной из компонент спектра возмущений в ударном слое являются акустические пульсации давления. В данной работе исследовано возникновение акустических пульсаций в гиперзвуковом ударном слое и изучена возможность воздействия на интенсивность этих пульсаций с помощью пористых и газопроницаемых поверхностей различной структуры. Полученные в работе экспериментальные данные позволяют разработать методы пассивного управления интенсивностью пульсаций в гиперзвуковом ударном слое и верифицировать алгоритмы расчета характеристик пульсаций при обтекании тел гиперзвуковыми разреженными потоками.

Эксперименты были выполнены в сверхзвуковой аэродинамической трубе Т-327А ИТПМ СО РАН при числе Маха 21 и единичном числе Рейнольдса $6 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$. Проведены эксперименты с сетками и пористыми поверхностями с различной степенью проницаемости сеток, пористости и размера пор на поверхностях. Интенсивность пульсаций давления измерялась пьезокерамическими датчиками давления. Дополнительно проводилась электронно-пучковая визуализация поля течения и измерения распределения плотности в ударном слое.

Получены зависимости интенсивности и спектра пульсаций давления от прозрачности сеток, распределения средней плотности и пульсаций плотности поперек ударного слоя, зависимости интенсивности пульсаций давления на поверхности от угла атаки к набегающему потоку, интенсивности пульсаций давления от площади заполнения и диаметра каналов в поверхности модели.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук С. Г. Миронов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛН РЯБИ В ДИСПЕРСНО-КОЛЬЦЕВОМ ТЕЧЕНИИ МЕТОДОМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Д.В. Крей

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

Наличие потока газа совместно с течением пленки жидкости существенно изменяет волновую картину даже для тонких пленок. Полностью развитый волновой режим достигается на малых расстояниях от входа в канал. С увеличением скорости газа существенно увеличивается частота и скорость волн, а длина волн уменьшается и может достигать 2-3мм. Для исследования свойств волн при таких режимах необходим экспериментальный метод с высоким пространственным и временным разрешением. Ранее использованные методы с высоким пространственным разрешением позволяют получать только временные зависимости в фиксированной точке или в небольшом количестве точек, разделённых относительно большим расстоянием.

Новый экспериментальный метод, позволяющий решить проблему – это метод флуоресцентной визуализации [1], основанный на зависимости интенсивности свечения растворенного в жидкости флуоресцентного вещества от толщины слоя жидкости. Метод не вносит возмущений в поток, его пространственное разрешение может достигать десятых и сотых долей миллиметра. Использование высокоскоростной камеры для регистрации свечения флуоресцентного вещества позволяет исследовать пространственно-временное развитие пленки жидкости. Таким образом, полученные данные содержат полную информацию о процессах развития и взаимодействия волн на пленке.

Эксперименты проводились в вертикальном цилиндрическом канале внутренним диаметром 15 мм на расстояниях 1-20 см от входа в канал. Диапазон чисел Рейнольдса жидкости составил 40-80, диапазон среднерасходных скоростей газа $V_{г}$ – 0-60 м/с. Канал освещался лазерным ножом. Толщина пленки восстанавливалась по интенсивности свечения растворенного в жидкости флуорофора Rhodamin-6G, частота опроса цифровой камеры составляла 2кГц.

Применение метода позволило исследовать процессы взаимодействия волн ряби и изменение основных параметров волн вниз по потоку.

1. Liu J., Paul J. D., Gollub J.P. Measurement of the primary instabilities of film flow. J. Fluid Mech., Vol. 250, 69 –101 (1993).

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЛНИСТОСТИ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТИ КРЫЛА МОТОПЛАНЕРА

А.В. Крюков

Новосибирский государственный технический университет

Планерный спорт издавна считается одним из красивейших технических видов спорта. Используя ум и свою наблюдательность, человек может часами находиться в воздухе и преодолевать сотни километров, используя даровую энергию солнца и ветра, постигая красоту и гармонию окружающего мира.

Однако современная материальная база и структура организации полетов в России делает этот вид спорта в высшей степени дорогостоящим и элитарным. По этому группа студентов, работающих СКБ ФЛА НГТУ, приняла решение спроектировать и построить свой мотопланер. Идея конструирования именно мотопланера возникла из соображений того, что мотопланер более универсален по отношению к обычному планеру. Это выражается в том, что в отличие от планера мотопланер способен взлетать самостоятельно, используя собственную винтомоторную группу.

Для конструируемого мотопланера полетные числа Рейнольдса лежат в области 10^5 – 10^6 . При обтекании профиля на данных числах Рейнольдса в области ламинарно-турбулентного перехода возникает отрывной пузырь. Отрывной пузырь способствует срыву потока с передней кромки и как следствие потере устойчивости.

Изучением проблемы сохранения устойчивости летательных аппаратов с малым полетным числом Рейнольдса занимаются довольно давно. Существует ряд способов влияния на структуру течения на несущей поверхности. Одним из них является установка волнистости расположенной по потоку.

Целью данной работы было определение целесообразности установки волнистости на крыло мотопланера СКБ, а также определение геометрических характеристик необходимой волнистости. В ходе работы был проведен ряд экспериментальных исследований по определению характеристик моделей гладкого и волнистого крыльев большого удлинения. С помощью программы моделирования обтекания профиля X-foil получены необходимые параметры пограничного слоя при обтекании профиля мотопланера на числах Рейнольдса соответствующих полетным режимам. Исходя из особенностей пограничного слоя, определены параметры необходимой волнистости для поверхности крыла.

1. И.Д.Зверков, Б.Ю. Занин «Влияние формы поверхности крыла на отрыв потока» // Теплофизика и аэромеханика. - 2003. -Том 10, №2. с. 205-213.

Научный руководитель - канд. техн. наук И.Д. Зверков.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДВЕСТНИКОВ ФРОНТОВ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ПРЯМОМ КРЫЛЕ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ СТЕПЕНИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НАБЕГАЮЩЕГО ПОТОКА

П. А. Мотырев, М. М. Катасонов

Институт теоретической и прикладной механики СО РАН
Новосибирский государственный университет

В последние несколько лет повышенное внимание уделяется изучению продольных локализованных возмущений, так называемых полосчатых структур «streaky structures», возникающих в пограничном слое под влиянием повышенной степени турбулентности набегающего потока. Это обусловлено важностью их роли в процессе ламинарно-турбулентного перехода при повышенной степени турбулентности, что в свою очередь является актуальной задачей прикладной механики.

Возмущения из внешнего потока воздействуют на пограничный слой, в результате чего в нем образуются ориентированные вдоль потока структуры, состоящие из областей с превышением и дефектом продольной компоненты скорости. Данные возмущения приводят к развитию вторичной неустойчивости, трансформирующейся в турбулентные пятна («incipient spots»), в результате течения в пограничном слое переходит из ламинарного состояния в турбулентное [1,2]. Исследования в «естественных» условиях не позволяют сегодня в полной мере ответить на поставленные вопросы в силу того, что появление возмущений в пограничном слое носит случайный характер и отследить поведение конкретного возмущения в большинстве случаев невозможно. В целях детального изучения данные локализованные структуры моделируются искусственно.

В работе изучаются продольные структуры, полученные методом вдува/отсоса. Особое внимание уделяется изучению волновых пакетов – предвестников, возникающих в областях, предшествующих резкому изменению локальной скорости на фронтах продольного возмущения. Исследованы их характеристики, динамика развития, проведена аналогия между данным типом возмущений и волной Толлмина – Шлихтинга.

1. Kozlov V.V. The role of localized vortex disturbances in the process of transition to turbulence in a boundary layer: EUROMECH Colloquium 353: Booklet of summaries. Karlsruhe, 1996. –P. 15-16.

2. Бойко А.В., Грек Г.Р и др. Возникновение турбулентности в пристенных течениях. Новосибирск: Наука. Сиб. Издат. Фирма, 1999.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук М. М. Катасонов.

ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ДЛЯ КЛАССА КОНИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ.

Р.И. Мулляджанов

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

В данной работе исследуется осесимметричное течение вязкой несжимаемой стационарной проводящей жидкости. Это течение вызвано точечным источником импульса, расположенном на конце полубесконечного проводника с заданным током.

Решение ищется в коническом автомодельном классе, в котором скорость и магнитная индукция обратно пропорциональны расстоянию от начала координат, которое находится на конце проводника. Уравнения магнитной гидродинамики (МГД) допускают решения такого типа. Для уравнений Навье – Стокса широко известно принадлежащее этому классу аналитическое решение Ландау [1], описывающее струйное течение вязкой несжимаемой жидкости.

С помощью автомодельной подстановки полей скорости и магнитной индукции, из уравнения Навье – Стокса для МГД получаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений типа Лежандра относительно пологоидальной компоненты угла, из которой были построены решения для частных случаев.

Существенно особая точка на бесконечности предполагает построение решения в виде асимптотических рядов для выяснения характера поведения решения в окрестности с.о.т.

$\theta = \pi$ – существенно особая точка уравнений. В данной работе был определен вид разложения и построено решение во всей области течения.

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика, Т.6. Гидродинамика. – М.: Наука, 1986. – 736 с.

2. Яворский Н.И., Теория затопленных струй и следов. Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 1998. – 242 с.

3. Вулис Л.А., Кашкаров В.П., Теория струй вязкой жидкости. – М.: Наука, 1965. – 431 с.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Н.И. Яворский.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НАНОКАНАЛАХ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

М.С. Ожгибесов

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

В настоящее время появляется все большее количество работ, посвященных исследованию процессов происходящих в микро- и наносистемах, однако большая часть работ направлена на исследование механических свойств наноструктур. Данная работа посвящена исследованию течения газа в наноканалах круглого сечения.

Одной из основных проблем при моделировании поведения частиц каналах субмикронных размеров является моделирование затекания молекул газа в исследуемый канал. Для моделирования данного процесса не применимы подходы теории сплошной среды, например, уравнения Навье-Стокса [1]. Это обусловлено тем, что длина свободного пробега частицы во много раз может превышать характерный размер канала.

В настоящей работе исследования проводились численно при помощи метода молекулярной динамики [2], основанного на первых принципах. В качестве потенциала межатомного взаимодействия был выбран потенциал Леннарда-Джонса. Взаимодействие со стенкой описывалось отталкивательной ветвью потенциала Леннарда-Джонса.

Расчеты, проведенные в широком диапазоне размеров канала показали невозможность использования традиционного молекулярно-кинетического подхода (например, уравнения Больцмана) для расчетов потоков газа сквозь наноканал. Это объясняется тем, что характерные размеры областей межмолекулярного взаимодействия и взаимодействия молекул газа со стенкой соизмеримы с размерами канала. В тоже время, как известно, в теории Больцмана используются предположения нулевых размеров молекул (точечные массы), парности взаимодействия и нулевого времени столкновения.

1. Ching-Shung Chen Numerical Method for predicting three-dimensional steady compressible flow in long microchannels, Journal of Micromechanics and Microengineering, 1091-1100

2. M.P. Allen, D.J. Tildesley, Computer Simulation of Liquids, Clarendon Press, Oxford, 1987.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доц. И.Ф. Головнев.

НОВОЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ПОНЯТИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДОЗЫ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕПЛОТЕХНИКЕ

В.Ю. Осипов

Физико-технический институт

Якутский государственный университет

Введено понятие экспозиционной температурной дозы (ЭТД) воздействия на объект, определяемое произведением температуры на время для единицы массы вещества. Мощностью экспозиционной температурной дозы называется температура, отнесенная к единице времени и массы. Для определения понятия эффективной тепловой дозы (аналогичной эффективной эквивалентной дозе радиации) нужны медико-биологические исследования с достаточной статистикой. Для отсчета «нуля» можно принять температуру комфортную для человека.

Использованием понятия ЭТД разработана теория взаимодействия отопителя и теплоносителя, позволяющая оценить значения теплотворности топливных композиций. Сконструирован и изготовлен автономный водонагреватель, отапливаемый дровами и любым органическим твердым топливом, на котором измеряется ЭТД. Получена формула для вычисления теплотворности смеси по экспериментальным данным. Для смеси дров (теплотворность – 10 МДж/кг) и угля (теплотворность - 13,98 МДж/кг) получено, что теплотворность равна 11,72 МДж/кг.

По данной модели предлагается оценить теплотворность топливных композиций из радиоактивных отходов из плутония, америция-241 и других долгоживущих нуклидов, измеряя ЭТД в реакторе, имеющем известное количество стандартных твэлов с контейнерами для сжигания радиоактивных отходов. Понятие ЭТД является простым производным понятием термодинамики и поэтому применимо для измерения теплотворности топливных композиций, а также его можно использовать при решении других термодинамических задач.

Медицинское использование ЭТД возможно после экспериментального медико-биологического определения понятия эффективной эквивалентной температурной дозы.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Е. Степанов.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ОТРЫВНОГО ТЕЧЕНИЯ ДО И ПОСЛЕ ТОЧЕЧНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.

А. М. Павленко

Новосибирский государственный университет

Важной задачей при исследовании отрывных течений является поиск наиболее эффективных способов управления их структурой с целью улучшения аэродинамики крыла. Один из таких способов заключается в воздействии на отрывное течение внешними акустическими возмущениями малой амплитуды. Другим способом управления отрывом является использование стационарных источников возмущений типа турбулизаторов, неровностей, выступов различной формы, помещённых вблизи передней кромки крыла.

В данной работе приведены результаты исследования по воздействию локального точечного вдува на срыв потока на модели крыла. Использовалась модель крыла с хордой, равной 102 мм и размахом 200 мм. Эксперименты проводились в дозвуковой аэродинамической трубе. Данная установка представляет собой аэродинамическую трубу открытого типа. В открытую рабочую часть помещалась модель крыла. На крыле имелось отверстие, через которое подавался воздух (локальный вдув). Проведены эксперименты с вдувом и без него при одном угле атаки, равном 14 градусов, с помощью метода термоанемометрии.

Показано, что на этом режиме возникает срыв потока вблизи передней кромки и область отрыва характеризуется наличием упорядоченного вихревого течения в форме пары вихрей. Проведены термоанемометрические измерения распределения скоростей и пульсаций потока над крылом. Найдены размеры зоны отрыва, показано, как изменяются профили средней скорости и пульсаций по её толщине и размаху. Продемонстрирована возможность преобразования срывного течения в присоединённое с помощью локального воздействия. Проведены визуализация и термоанемометрические измерения присоединённого течения, показавшие, что в этом случае также на крыле существует область отрыва потока в форме локального отрывного пузыря. Измерены распределения скоростей потока, пульсаций и процесс перехода к турбулентности в таком течении.

Работа поддержана грантом Министерства образования и науки РФ № РНП. 2.1.2.3370

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ В ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЕ

С. В. Постолова

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

При исследовании проводимости в детонационных волнах конденсированных взрывчатых веществ ранее нами обнаружено двойное распределение электропроводности. Первое распределение представляет собой узкий (~ 1 мм.) и высокий пик. Второе – широкий пик со значительно меньшей электропроводностью. Зоны разделены узкой слабо проводящей областью. На осциллограммах две зоны электропроводности отделены друг от друга короткой полочкой между двумя спадами напряжения. Скорости спадов напряжения значительно отличаются. Полочка, разделяющая два спада напряжения, названа нами «особенностью». Исследования проводились контактной методикой с использованием коаксиальной измерительной ячейки с утопленным центральным электродом. «Особенность» обнаружена в насыпных зарядах тротила, гексогена, тэна и октогена и в зарядах литого тротила, она обнаружена в перечисленных веществах и в режиме пережатия.

Для того чтобы подтвердить или опровергнуть наличие двойного распределения были проведены численные эксперименты с натуральной измерительной ячейкой. Рассчитывалось распределение потенциала, электрического поля, распределение плотности тока. Восстанавливалась экспериментальная осциллограмма и распределение электропроводности. Численным счетом подтверждено двойное распределение электропроводности в детонационных волнах. Анализ картины распределения плотности тока позволил предложить видоизмененную измерительную ячейку, в которой распределение электропроводности восстанавливается практически точно.

Проведенные с новой измерительной ячейкой эксперименты подтвердили наличие двойного распределения электропроводности и конечность ее размеров. Полученная значительная ширина зоны электропроводности ставит вопросы о правомерности измеренной ранее ширине зоны химической реакции.

Научный руководитель – канд. техн. наук П. И. Зубков.

ДЕМОНСТРАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОТРЫВНЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ НА НЕСУЩИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

А. В. Пушкарёв, А. Д. Будовский
Институт Теоретической и Прикладной Механики
им. С. А. Христиановича СО РАН
Новосибирский государственный университет

Отрыв потока на несущих поверхностях летательного аппарата (ЛА) при превышении критического угла атаки приводит к резкому снижению подъемной силы и росту сопротивления. В условиях реального полета, как правило, данный процесс носит несимметричный характер, что приводит к потере управляемости и срыву в штопор.

Среди современных адаптивных методов управления отрывом потока, таких как: вдув-отсос пограничного слоя, синтетические струи, микро-механические активаторы использование устройств, основанных на принципе диэлектрического барьерного разряда (ДБР) имеет несомненные преимущества. Принцип работы ДБР устройств основан на дополнительном разгоне и возбуждении предотрывного пограничного слоя, что способствует затягиванию отрыва до больших углов атаки и изменению его характера.

Недавние исследования в аэродинамической трубе Т-324 ИТПМ больших моделях прямого и стреловидного крыла показали, что метод готов к апробации в условиях летного эксперимента

Летные эксперименты были выполнены на спортивном планере Янтарь Стандарт SZD-48-3. Основным методом диагностики влияния ДБР на отрыв потока в эксперименте являлся метод визуализации течения при помощи шелковинок.

В проведенных летных экспериментах была продемонстрирована возможность создания высоковольтной электрической системы плазменного управления потоком, пригодной к установке на реальный летательный аппарат. Были отработаны процедуры применения ДБР-системы управления в условиях реального полета, исследованы практические аспекты его применения [1].

1. A. Sidorenko, A. Budovsky, A. Pushkarev, A. Maslov, "Flight Testing of DBD Plasma Separation Control System" AIAA Paper No. 2008-373, 2008

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

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВОЛНОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕЛ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ ГАЗОПРОНИЦАЕМЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

К. М. Сердюк

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

Управление сопротивлением тел, движущихся со сверхзвуковой скоростью в атмосфере, является важной проблемой современной аэродинамики. При сверхзвуковом полете значительную долю сопротивления тела составляет, так называемое, волновое сопротивление, которое связано с образованием перед телом скачков уплотнения. В данной работе предложено и исследовано влияние на волновое сопротивление тупого тела в сверхзвуковом потоке воздуха газопроницаемых поверхностей различной структуры.

Эксперименты были выполнены в сверхзвуковой аэродинамической трубе Т-327Б ИТПМ СО РАН при числе Маха 4,85 и единичном числе Рейнольдса $2,7 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$. Основной моделью являлся продольный поток алюминевый цилиндр диаметром 14,5 мм. Перед торцом цилиндра могли соосно устанавливаться круглые сетки или цилиндрические пористые тела того же диаметра. Расстояние между сеткой и торцом цилиндра, также между пористым цилиндрическим телом и торцом цилиндра, могло изменяться от нуля до трех диаметров цилиндра. В экспериментах измерялась сила сопротивления системы цилиндр-газопроницаемая поверхность (Ц-ГП) с помощью внутримодельных тензочувствительных датчиков. Дополнительно проводились измерения числа Маха трубкой Пито и теневая визуализация обтекания.

Было обнаружено, что в том случае, когда вязкость потока не оказывает влияния на сопротивление газопроницаемых поверхностей и течение в державках, всегда имеет место изменение сопротивления системы Ц-ГП при изменении расстояния до торца цилиндра. При этом возможно как увеличение, так и уменьшение начального сопротивления. Прозрачность сеток, их структура, пористость материала, структура и прозрачность державки газопроницаемой поверхности оказывают существенное влияние на величину изменения сопротивления системы Ц-ГП, в основном уменьшая ее. Было получено значительно (до 40%) снижение сопротивления системы Ц-ГП.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук С. Г. Миронов.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОГРАНИЧНЫМ СЛОЕМ

К. Ю. Тимофеев

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

Толщина пограничного слоя на входе в канал воздухозаборника, а также его возможный отрыв оказывают существенное влияние на интегральные характеристики воздухозаборника и его запуск. Поэтому управление пограничным слоем является актуальной задачей при разработке воздухозаборников. Обычно применяют слив пограничного слоя в горле воздухозаборника или через щель, расположенную перед первой поверхностью сжатия. Однако описанные методы не всегда позволяют обеспечить запуск воздухозаборника или получить удовлетворительные расходные характеристики, поэтому исследования других конфигураций слива пограничного слоя до сих пор являются актуальными. Одной из таких возможных конфигураций является слив через перфорированную поверхность внешнего сжатия. Другой эффект, связанный с наличием или отсутствием пограничного слоя в канале воздухозаборника, проявляется при испытаниях в импульсных трубах – ударный запуск. Добиться такого эффекта возможно в установках периодического действия, если обеспечить быстрый переход входного устройства из закрытого состояния в стандартное положение заданной конфигурации воздухозаборника.

Целями работы являлись экспериментальное исследование влияния слива пограничного слоя через перфорированную поверхность внешнего сжатия на характеристики воздухозаборника и его запуск и проверка устройства внезапного запуска в трубе периодического действия.

В результате проведенных исследований было выяснено, что слив пограничного слоя через перфорированную поверхность внешнего сжатия является эффективным средством управления запуском воздухозаборника и его расходными характеристиками. Его применение обеспечило запуск воздухозаборника, а также был получен расход, близкий к расчетному значению при достаточно высоком уровне коэффициента восстановления полного давления. При использовании устройства внезапного запуска (имитирующего естественный процесс ударного запуска для трубы импульсного типа) в трубе периодического действия достигается такой же уровень коэффициента расхода воздухозаборника, как и в импульсной трубе, что говорит об адекватности проведенных исследований.

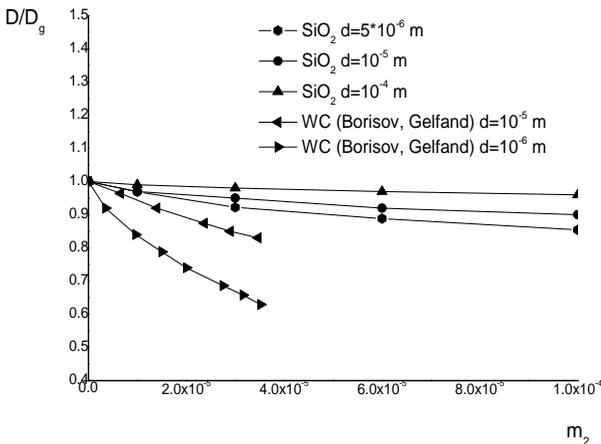
Научный руководитель – к.т.н., доцент М. А. Гольдфельд.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДАВЛЕНИЯ ДЕТОНАЦИИ ИНЕРТНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Д.А. Тропин

Новосибирский Государственный Университет

Проблема физико-математического моделирования процесса подавления детонации реакционноспособных смесей представляется важной с точки зрения обеспечения взрыво- и пожаробезопасности промышленных производств. Для описания подавления детонации водород-кислородной смеси инертными частицами предлагается математическая модель неравновесной газовой динамики. При этом принимается во внимание различие температур компонентов, а частицы являются «вмороженными» в течение газа. Для описания кинетики горения и воспламенения газовых компонент используется одна из кинетических схем, предложенных в работе [1]. Была разработана соответствующая математическая технология, основанная на подходе TVD, для реализации данной задачи и получены характеристики влияния начальных параметров смеси на возможность подавления детонации частицами песка и карбида вольфрама. В частности было показано, что с ростом объемной концентрации частиц, «вмороженных» в течение, за счет



импульса и энергии от детонирующей смеси газа, происходит значительное до 25 % уменьшение скорости детонации. Было также показано, что уменьшение размера частиц при сохранении их доли в

объеме также приводит к уменьшению скорости детонации. Это обусловлено ростом поверхности теплообмена фазы частиц с газовой при

уменьшении радиуса частиц порядка $1/r$. В качестве иллюстрации высказанных положений на рисунке 1 приводится отношение скоростей детонации в смеси газов и частиц по отношению к скорости детонации в чистом газе при добавлении частиц карбида вольфрама и песка. На данном рисунке приведены расчетные и экспериментальные зависимости. Экспериментальные зависимости взяты из [2] для пропана с воздухом. Как видим, имеет место качественное согласие данных расчетов и экспериментов. Количественное различие обусловлено различием реакционноспособных сред.

Рис.1 Распределение дефицита скорости детонации в зависимости от объемной концентрации частиц для различных материалов и радиусов частиц.

-
1. И.А.Бедарев, А.В.Федоров, Сравнительный анализ трех математических моделей воспламенения водорода // Физика горения и взрыва 2006, т. 42, № 1.
 2. А.А.Борисов, Б.Е.Гельфанд, С.А. Губин, С.М. Когарко, Влияние твердых инертных частиц на детонацию горючей газовой смеси, Физика горения и взрыва 1975, т. 11, № 6

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

ПИРОЛИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА В НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО

Б.В.Постников, В.А Уланов.
Институт Теоретической и Прикладной Механики
им. С.А. Христиановича СО РАН
Новосибирский государственный университет

Увеличение эффективности конверсии природного газа (метана) в ацетилен и этилен является весьма актуальной задачей для химической промышленности. В настоящее время разрабатывается множество способов реализации этого процесса, например, конверсия частичным окислением метана, процессы с использованием катализаторов, ВЧ и СВЧ плазмы, электрической дуги, и др.

В представленном докладе рассматривается реализация конверсии метана в сверхзвуковом газодинамическом реакторе. Объемный

электрический разряд инициировался в сверхзвуковом потоке. Его однородность по объему определяет энергетическую эффективность работы пиролизического реактора. Энергия к потоку подводилась в неравновесной плазме разрядом постоянного тока и высокочастотным, а также высоковольтными импульсами.

При проведении экспериментов с разрядом постоянного тока использовалась конфигурация электродов центральное тело (анод) – внешнее кольцо (катод). В ходе экспериментов было установлено, что в сверхзвуковом потоке метана ($M=2,7$), при мощности $P\sim 600$ Вт разряд находится в контрагированном состоянии. При наведении поперечного магнитного поля ($B\sim 0,1$ Тл) разряд становится однородным по объему.

В ходе экспериментов на частотах 1-10кГц при воздействии высоковольтными импульсами получены данные о частотной зависимости наработки продуктов конверсии метана.

Работы с импульсным подводом энергии ($T_{имп}=2,0$ мс) проводились на установке «Поток-3» СО РАН, работающей в импульсном режиме ($M=2.0$)

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, Б.В Постников.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ СКОРОСТИ С ВСПЛЫВАЮЩИМИ ПУЗЫРЬКАМИ НА ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА

А. М. Бурханова, А. С. Хисматуллин

Стерлитамакская государственная педагогическая академия

Как известно, скорость протекания реакции зависит от температуры. Нагрев достаточно больших объемов жидкости в труднодоступных местах порой бывает невозможен, например, когда нагреватель можно установить только вблизи поверхности жидкости. При этом из-за малого коэффициента теплопроводности жидкости нагрев жидкости занимает много времени.

В эксперименте был использован аналогово-цифровой преобразователь Adam4018+-В, который снимал автоматически показания температур и передавал данные в компьютер. Анализируя поступающие данные, мы определяли коэффициент теплопроводности жидкости. На поверхности воды автоматически поддерживали постоянную температуру

с помощью реле – регулятора. Показания температур считывались с термопар, закрепленных в установке УИКТП-2 [1], на разных глубинах.

С помощью созданной установки экспериментально исследованы основные физические закономерности переноса тепла в жидкости с пузырьками и без них, а также с использованием звуковых частот. В результате проведенных опытов обнаружено, что «псевдокипящая» жидкость обладает большей теплопроводностью. При акустическом воздействии на жидкость с пузырьками коэффициент теплопроводности больше по сравнению со значениями, полученными в экспериментах без звуковых волн. Максимальный коэффициент теплопроводности наблюдался при частоте, равной частоте Минаэрта.

На основе исследованного явления транцилляторного переноса могут быть созданы принципиально новые устройства с регулируемыми коэффициентами переноса (например, диффузии), а вследствие чего с изменяемыми скоростями протекания химических реакций.

1. Мухаметзянов Э.В., Хисматуллин А.С. Экспериментальное измерение коэффициента теплопроводности жидкости с газовыми пузырьками // Сб. тез. XIII Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых, Ростов-на-Дону, 20-26 апреля 2007г., с. 289-290.

2. Нигматуллин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. М.: Наука, 1978 г., 336 с.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. М. Р. Минлибаев.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВОБОДНОЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУИ

М.Ю. Хребтов

Новосибирский государственный университет

Для случая однородной изотропной турбулентности знак асимметрии пространственной производной скорости связан с направлением переноса энергии по масштабам. Инерционный интервал спектра турбулентных пульсаций, характеризующийся колмогоровским законом с каскадным переносом энергии от больших масштабов к меньшим, соответствует отрицательному знаку асимметрии [1]. В ряде работ (см., например, [2]) эксперимент фиксирует ее положительное значение. Для однородной изотропной турбулентности этот факт указывает на “обратный”

спектральный поток энергии. Исследованию этого эффекта посвящена представленная работа.

В данной работе было проведено исследование статистической структуры свободной турбулентной струи на основе моделирования течения методом крупных вихрей (LES). Анализ распределения вычисленных статистических характеристик струи показал, что положительная величина асимметрии производной скорости сосредоточена на внешней границе слоя смешения. Эта же область струи соответствует максимуму коэффициента эксцесса скорости турбулентных пульсаций, что указывает на высокую степень перемежаемости турбулентности и, как следствие, на отклонения от однородности. Как известно, в LES-моделировании пульсации малых масштабов (меньше шага расчетной сетки) не воспроизводятся напрямую, для их учета используются параметризации. Учитывая, что вклад малых масштабов в асимметрию производной скорости растет с ростом порядка этой производной [1], растет и влияние «подсеточной» турбулентности. Поэтому LES-вычисления производились на последовательности сеток с уменьшающимся шагом. Это позволило оценить вклад «подсеточной» турбулентности в вычисленные значения асимметрии производной скорости турбулентных пульсаций. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 06-01-00724-а).

1. А. С. Монин, А. М. Яглом, Статистическая гидромеханика. М. Наука, 1967 г.

2. L. Danaïla, P. Le Gal, F. Anselmet, F. Plaza and J. F. Pinton, Some new features of the passive scalar mixing in a turbulent flow, Phys. Fluids 11. (1999)

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

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ ВСКИПАНИЯ В СТЕКАЮЩИХ ПЛЕНКАХ ЖИДКОСТИ ПРИ СТУПЕНЧАТОМ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИИ

А.Н. Чернявский
Новосибирский Государственный Университет

Ранее исследования теплообмена, переходных процессов в стекающих плёнках жидкости проводились в условиях стационарного тепловыделения, когда время нарастания тепловой нагрузки было

существенно больше характерных времен развития процессов теплообмена.

В данной работе проведено экспериментальное исследование динамики переходных процессов при нестационарном тепловыделении и получены расчетные зависимости для времени ожидания вскипания в стекающих пленках жидкости от теплового потока (Рис. 1).

Из сопоставления полученных опытных данных по времени ожидания вскипания и приведенных зависимостей следует, что в исследованном диапазоне изменения числа Рейнольдса при разработке расчетных методик необходимо учитывать развитие испарения жидкости со свободной поверхности пленки, снижающего скорость роста температуры теплоотдающей поверхности, а так же явление конвекции при моделировании теплопереноса в пленке.

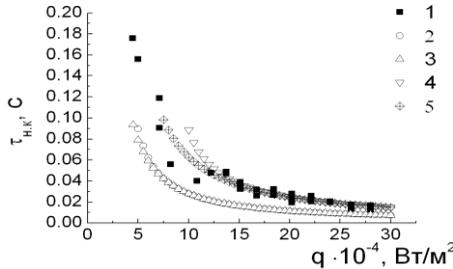


Рис. 1. Зависимость времени ожидания вскипания в пленке азота от плотности теплового потока при $P_{нас.}=0.1$ МПа. $Re_{вх}=847$. $\Delta T_{н.к}=\Delta T_{пр}=26$ К. 1 – опытные данные; 2, 3 – расчет $\tau_{н.к}$ при $a=a_{конд}$ для $\delta=\delta_{ост}$, $\delta=\delta_{макс}=\delta_{гр.в}$, соответственно; 4, 5 – расчет $\tau_{н.к}$ при $a=a_{эфф.конв}=2.23a_{конд}$ для $\delta=\delta_{ост}$, $\delta=\delta_{макс}=\delta_{гр.в}$, соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 05-08-18022-а) и Интеграционного проекта СО РАН (№ 2.5).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРИСТОСТИ НА НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГИПЕРЗВУКОВОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ОСТРОГО КОНУСА

Т. А. Чимьгов

Институт Теоретической и Прикладной Механики
им. С.А. Христиановича СО РАН

Исследование процессов, вызывающих ламинарно-турбулентный переход в гиперзвуковом пограничном слое, имеет большую практическую ценность для управления процессом перехода. Поверхностное трение и теплообмен летательного аппарата с окружающей средой, зависят от режима течения в пограничном слое, поэтому необходимо знать механизмы ламинарно-турбулентного перехода при гиперзвуковых скоростях. Ламинарно-турбулентный переход состоит из нескольких стадий. Завершающей является стадия нелинейного взаимодействия волн возмущений, которая в отличие от предшествующих стадий слабо исследована. Известно, что доминирующую роль во всех стадиях перехода при гиперзвуковых течениях играют возмущения второй моды. Вторая мода относится к семейству акустических мод и соответствует ультразвуковому диапазону частот.

В конце 1990-х Федоровым и Малмусом была разработана концепция управления ламинарно-турбулентного перехода при помощи ультразвуков поглощающих покрытий (УАС). В этой концепции предполагается, что поглощение акустической энергии может стабилизировать вторую моду и, таким образом, увеличить длину ламинарного участка.

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования нелинейного взаимодействия волн возмущений в гиперзвуковом пограничном слое на поверхности конуса с УАС, представляющую собой регулярную пористость. Также представлено сравнение с результатами экспериментов на сплошной поверхности конуса.

При помощи спектрального и биспектрального анализа показано качественное отличие нелинейных процессов на пористой и сплошной поверхности. Нелинейное взаимодействие волн на сплошной поверхности проявляется выше по потоку. Субгармонический резонанс, являющийся одним из основных нелинейных механизмов для случая сплошной стенки, практически полностью отсутствует на пористой поверхности. Относительная степень нелинейности на пористой поверхности меньше. Кроме того, нелинейные процессы на пористой поверхности выше и ниже слоя максимальных пульсаций протекают более интенсивно.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Д. А. Бунтин.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ХЛАДАГЕНТА R507 В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ

А. С. Шипицына

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

В настоящее время в качестве наиболее перспективных заменителей традиционных фреонов рассматриваются смесевые хладагенты на основе бесхлорных фреонов (R34, R125, R134a, R143a) с низкими озоноразрушающим и парниковым потенциалами. В то же время их теплофизические свойства исследованы недостаточно подробно. В частности, в литературе нет данных по теплопроводности жидкого хладагента R507 (50 % R125 (C₂HF₅) / 50 % R143a (C₂H₃F₃)) в однофазной области, а имеющиеся данные по теплопроводности насыщенной жидкости R507 [1] требуют уточнения.

В работе представлены результаты измерений теплопроводности хладагента R507 в жидком состоянии в интервале температур 297,9...332,5 К и давлений 1,46...3,7 МПа, получены аналитические зависимости $\lambda(P, T)$ и рассчитаны значения теплопроводности на линии кипения $\lambda_s(T_s)$:

$$\lambda(P, T) = 0,069428 - 3,5538 \cdot 10^{-4} \cdot (T - 273,15) - 1,27 \cdot 10^{-6} \cdot (T - 273,15)^2 + \\ + (8,181 \cdot 10^{-5} + 4,163 \cdot 10^{-5} \cdot (T - 273,15) - 1,4 \cdot 10^{-7} \cdot (T - 273,15)^2) \cdot P, \\ \lambda_s(T_s) = 0,161 - 3,35 \cdot 10^{-4} \cdot T_s.$$

где $\lambda(P, T)$ выражается в Вт·м⁻¹·К; T – в К; P – в МПа.

Погрешность экспериментальных данных по теплопроводности составляла 1,5 % (погрешность измерения температуры – 0,1 К, давления – 3 кПа).

Измерения проведены зондовым методом тепловых волн высокой (20...200 Гц) частоты. Особенностью данного метода является то, что он позволяет экспериментально исключить радиационную компоненту теплопереноса [2] и измерять, тем самым, непосредственно молекулярную составляющую теплопроводности жидкостей частично прозрачных в видимой и ИК-областях спектра.

1. Klaus Spindler, Nico Hoffmann, Jochen Sohns, Erich Hahne. Thermal conductivity of binary and ternary refrigerant mixtures: experimental results and correlations // High temp. – High press. – 1997. – Vol. 29. – P. 659-664.

2. Багинский А.В. Об исследовании теплопроводности полупрозрачных веществ в тонких слоях. II. Высокочастотная плоская тепловая волна // Изв. СО АН СССР. – 1981. – № 13. Сер. техн. наук. – Вып. 3. – С. 17–19.

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук А. В. Багинский.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЛАМЕНИ STEREO PIV МЕТОДОМ

Ю.С. Козорезов, В.М. Дулин
Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

Ужесточение экологических требований обуславливает необходимость проектирование новых камер сгорания, работающих при минимальных выбросах вредных веществ. К настоящему времени среди всех известных технологий сжигания, обедненное предварительное перемешивание компонент топлива и воздуха обладает самым высоким потенциалом сокращения выбросов NO_x и CO [1]. Однако практическое применение этой технологии затруднено тем, что при обеднённом горении пламя подвержено влиянию неустойчивостей, вызванных различными факторами. При организации пламени струйными потоками, одним из основных источников неустойчивости, ограничивающих диапазон параметров при работе камер обедненного сгорания, является неустойчивость сдвигового потока струи, сопровождающаяся образованием крупномасштабных вихревых структур (КВС) [2, 3].

Данная работа направлена на детальное экспериментальное исследование роли КВС в стабилизации пламени при горении предварительно перемешанных компонент топлива и воздуха. В работе также было изучено влияние активных и пассивных методов управления характеристиками когерентных структур в пламенах.

Измерения проводились при использовании бесконтактного метода Stereo PIV. В работе использовалась PIV система "ПОЛИС", состоящая из сдвоенного импульсного лазера Nd:YAG, двух CCD камер, оборудованных оптическими фильтрами, и синхронизирующего процессора.

В работе получены ансамбли полей мгновенной и средней скорости для ряда режимов, характеризующихся различными числами Рейнольдса и стехиометрическим составом. Исследовано влияние внешнего периодического возмущения потока на структуру пламени.

1. R. R. Tacina, Combustor Technology for Future Aircraft, Paper No. AIAA-90-2400.

2. D. M. Kang, F. E. C. Culick and A. Ratner, Combustion Dynamics of a Low-swirl Combustor, Combustion and Flame, Vol. 151, pp. 412-425 (2007).

3. C. E. Cala, E. C. Fernandes, M. V. Heitor, and S. I. Shtork, Coherent Structures in Unsteady Swirling Jet Flow”, Experiments in Fluids, Vol. 40, No. 2, pp. 267-276. (2006)

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

КВАНТОВАЯ ОПТИКА

ПЕРСТРОЙКА И УДВОЕНИЕ ЧАСТОТЫ ВОЛОКОННОГО ИТТЕРБИЕВОГО ЛАЗЕРА

В. А. Акулов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Волоконные источники лазерного излучения обладают высокой эффективностью и простотой перестройки частоты за счет деформации волоконной брэгговской решетки. Но практически все волоконные лазеры излучают в инфракрасном диапазоне. Поэтому достаточно актуальна проблема создания на базе волоконных лазеров перестраиваемых источников видимого излучения.

В работе проведено исследование по перестройке длины волны волоконного иттербиевого лазера с удвоением частоты. В качестве нелинейных элементов для получения второй гармоники использовались три кристалла КТР со вторым типом синхронизма. Длины всех кристаллов составляли 10 мм. Вторым тип синхронизма отличается от первого тем, что при генерации второй гармоники используются две волны, имеющие ортогональные поляризации, так называемые обыкновенная и необыкновенная волны. В связи с анизотропией кристалла распространение необыкновенной волны отличается от распространения обыкновенной. Эффективная перекачка энергии во вторую гармонику происходит в области перекрытия пучков обыкновенной и необыкновенной волн. Даже при небольшом угле между лучами накачки коэффициент преобразования может быть существенно ниже, чем при полном перекрытии пучков. В работе [1] показано, что уменьшение коэффициента преобразования можно до некоторой степени скомпенсировать при наклонном падении излучения накачки на кристалл. Наши кристаллы вырезаны таким образом, что расхождение лучей накачки минимально для 1081 нм, 1090 нм и 1102 нм. Перестройка осуществлялась посредством сжатия волоконной брэгговской решетки, и диапазон перестройки составил 1080–1104 нм. При удвоении в однопроходной схеме для различных кристаллов найдены диапазоны длин волн, в которых каждый из кристаллов имеет высокий коэффициент преобразования во вторую гармонику.

1. K. Asaumi, Fundamental walkoff-compensated type II second-harmonic generation in KTiOPO_4 and LiB_3O_5 , *App. Opt.*, 37, 555 (1998).

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

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ ПЛЕНКА ОПАЛА – ОРГАНИЧЕСКИЙ КРАСИТЕЛЬ

А. М. Бакиров

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

В связи с развитием нанотехнологий, нацеленных на модернизацию элементной базы на основе использования новых физических эффектов и материалов, в последние годы большое внимание привлекают фотонные кристаллы (ФК) – особый класс пространственно модулированных структур, в которых период модуляции диэлектрических свойств соразмерен длине волны видимого света. В частности интерес представляет исследование влияния оптических свойств ФК среды на свойства излучения источников, помещенных внутри среды.

В работе исследовалась угловая зависимость спектров люминесценции органического красителя, наполняющего монокристаллические пленки опала и трехслойные гетероструктуры опала, полученные методом подвижного мениска из суспензии монодисперсных сферических частиц кремнезема [1]. Диаметры частиц составляли 235 нм и 260 нм. Пленки наполнялись спиртовым раствором родамина 6G с концентрацией 1 ммоль/л.

Показано, что особенности спектра люминесценции красителя в монокристаллической пленке опала обусловлены наличием стоп-зоны в образце. Положение стоп-зоны, определенное из спектров люминесценции, наблюдаемых под различными углами, определенное из спектров отражения, а также предсказанное теоретически, как следствие брэгговской дифракции на кристаллических плоскостях (111), совпадают в пределах погрешности.

Определенный порядок слоев гетероструктуры (когда максимум в спектре отражения внешних слоев оказывается в области люминесценции красителя) в сочетании с увеличением плотности состояний на краю стоп-зоны приводит к резонансному усилению интенсивности люминесценции красителя в сравнении с однослойными пленками. В нашей работе это увеличение наблюдалось в окрестности 555 нм.

1. Плеханов А.И., Калинин Д.В., Сердобинцева В.В. Нанокристаллизация монокристаллических пленок опала и пленочных опаловых гетероструктур // Российские нанотехнологии. – 2006. – N.1,2. – с.233-239.

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

ФОТОПРОЦЕССЫ В ВОЗБУЖДЁННОМ ЭЛЕКТРОННОМ СОСТОЯНИИ МОЛЕКУЛЫ ЛАУРДАНА

Т. Ю. Балакина

Томский государственный университет

Флуоресцирующие органические молекулы с одновременным присутствием донорных и акцепторных групп широко используются в биохимических исследованиях в качестве зондов для изучения физико-химических свойств растворителей, поверхностей различной физической природы, больших биологических молекул, мембран, клеток и т.д.

Цель данного исследования – исследование фотофизики флуоресцентных зондов на примере молекулы лаурдана (6-додеканоил-2-диметиламинонафталин). В работе использовались экспериментальные (спектры поглощения и флуоресценции) и теоретические (ММ2 (молекулярной механики), метод молекулярной динамики, ЧПДП/С (частичное пренебрежение дифференциальным перекрыванием со спектроскопической параметризацией), МЭСП (молекулярный электростатический потенциал) методы.

В данной работе определена геометрия основного и флуоресцентного состояний молекулы лаурдана. Интерпретирован спектр поглощения лаурдана в неполярном растворителе в области от 25000 до 50000 см⁻¹. Получены данные о величинах дипольных моментов S_0 и S_1 состояний, о положении и природе энергетических уровней S_1 и T_1 состояний молекулы, построена схема энергетических уровней и фотопроцессов зонда и оценены центры возможного взаимодействия лаурдана с протонодонорным растворителем.

Геометрия основного и флуоресцентного состояния является практически плоской с отклонением в 1°. Методом молекулярной динамики показано, что для геометрии основного состояния лаурдана возможен поворот диметиламиногруппы молекулы на угол $\pm 30^\circ$, однако, усредненные этим методом данные, дают плоскую структуру молекулы.

Квантовый выход флуоресценции из нижнего синглетного состояния ($\pi\pi^*$ типа) составил 0,031. В состоянии S_0 лаурдана наблюдаются три минимума: два связаны с атомом кислорода и локализованы в плоскости молекулы, один – с атомом азота, (на расстоянии 1,2 Å от плоскости зонда). В возбужденном $\pi\pi^*$ состоянии минимумы МЭСП присутствуют вблизи ароматического кольца, углеводородной цепочки и атома кислорода.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук, доцент Ю.П. Морозова, канд. физ.-мат. наук, О.М. Жаркова.

ОПТОВОЛОКОННЫЕ ФЕМТОСЕКУНДНЫЕ ЭРБИЕВЫЕ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ МЕТРОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

А. В. Иваненко

Институт лазерной физики СО РАН

Новосибирский Государственный Технический Университет

Широкие линейчатые спектры излучения фемтосекундных лазеров используются в качестве систем отсчета в прецизионной лазерной спектроскопии, а так же для переноса характеристик оптических стандартов частоты в радиодиапазон при реализации оптических часов. Они также могут играть роль сетки опорных частот в многоканальных оптических линиях связи, в том числе в волоконно-оптических DWDM сетях. По сравнению с традиционными лазерами на объемных элементах, оптоволоконные фемтосекундные лазеры более компактны и надежны, имеют более высокий КПД. Центральная длина волны излучения волоконных эрбиевых лазеров лежит в традиционной для волоконно-оптических линий связи спектральной области 1,5-1,6 мкм. Цель нововолоконные лазеры имеют закрытые резонаторы, состоящие из волоконных световодов, без традиционных оптомеханических элементов. Такие резонаторы не подвержены разъюстировке вследствие вибраций и механических релаксационных процессов. Режим синхронизации мод в целлюлозно-волоконных лазерах более устойчивый. Конструктивно они более защищены от воздействий окружающей среды и могут эксплуатироваться в сложных условиях.

В ИЛФ СО РАН ведется разработка и исследование волоконных фемтосекундных лазеров с целью создания на их основе высоконадежных малогабаритных синтезаторов оптических частот и оптических часов, пригодных для эксплуатации в составе мобильных и автономных метрологических систем. В частности, экспериментально исследованы фемтосекундные Er лазеры с самосинхронизацией мод с различными конфигурациями и схемами резонаторов. Исследуются возможности создания волоконных лазеров с высокой фундаментальной частотой повторения (более 100 МГц). Предложены и исследуются методы стабилизации частотной гребенки фемтосекундных волоконных лазеров. Экспериментально продемонстрирована возможность получения октавной гребенки оптических частот, простирающейся от 1 мкм до 2 мкм. Продемонстрирована высокая устойчивость режима самосинхронизации мод, достаточная для надежной эксплуатации разработанных лазеров в составе мобильных и автономных устройств.

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук Б. Н. Ньюшков.

ДИНАМИКА ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА В ЛЕГИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛАХ ТИТАНАТА ВИСМУТА

В. И. Иткин, И. Л. Михеев, Т. Н. Дудик, О. В. Позак, М. С. Ивасенко
Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники

Кристаллы титаната висмута обладают хорошими фоторефрактивными свойствами и находят применения во многих приложениях динамической голографии.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований фотоиндуцированного поглощения света в легированных кристаллах титаната висмута.

Эксперименты выполнялись на четырех легированных кристаллах титаната висмута: $Bi_{12}TiO_{20}:Cu$, $Bi_{12}TiO_{20}:Cu+Fe$, $Bi_{12}TiO_{20}:Cu+Co$ и $Bi_{12}TiO_{20}:Co+Cu$. Исследование динамики развития и темновой релаксации фотоиндуцированного поглощения проводилось с использованием некогерентного излучения светодиодов с длинами волн 505, 570, 660 и 870 нм на установке, описанной в работе [1].

Для аппроксимации экспериментальных зависимостей кинетики фотоиндуцированного поглощения использовалась математическая модель, основанная на модели предложенной в [2]. В модели предполагалось наличие двух дискретных энергетических уровней в запрещенной зоне кристалла, находящихся на разном расстоянии от дна зоны проводимости. Каждый из уровней был сопоставлен донорам и ловушкам, разделенным потенциальным барьером.

Сравнение теоретических зависимостей с экспериментальными данными показывает, их хорошее соответствие.

Работа выполнена при поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 годы)».

1. А. Е. Мандель, А. М. Плесовских, С. М. Шандаров и др. Фотоиндуцированное поглощение в кристаллах титаната висмута для узкополосного светового излучения, Известия Вузов. Физика, №12, 48 (2003).

2. S. M. Shandarov, L. E. Polyakova, A. E. Mandel, M. G. Kisteneva, J. Vidal, Yu. F. Kargin, A. V. Egorysheva, Temperature dependences of optical absorption and its light-induced changes in sillenite crystals, Proceedings of SPIE, 6595, 124 (2007).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Е. Мандель.

НОВЫЙ МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОД В ЧЕТЫРЕХСЕРДЦЕВИННОМ ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

И. А. Лобач

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Волоконные лазеры являются одним из ярких достижений волоконной оптики и лазерной физики. Основными преимуществами оптоволоконных лазеров являются: эффективный теплоотвод, компактность, малый вес, высокое качество выходного излучения.

Во многих приложениях требуется мощное одномодовое излучение. Один из способов увеличения мощности в волоконных лазерах – применение многосердцевинных волокон в качестве активной среды лазера. Основная проблема этого способа состоит в реализации фазовой синхронизации мод распространяющихся в различных сердцевинах. Обычно фазовая синхронизация достигается с помощью внешних элементов (например, [1]), которые вносят в схему дополнительные оптические потери.

В данной работе исследовалось четырехсердцевинное оптическое волокно, легированное ионами иттербия. Из-за большого расстояния между сердцевинами можно пренебречь эффектом прямого туннелирования. Несмотря на эту особенность, была обнаружена сильная связь мод сердцевины в исследуемом активном волокне. Первое проявление непрямого взаимодействия наблюдалось в генерации всех четырех сердцевины волокна, несмотря на то, что обратная связь была реализована только для одной сердцевины. Причем на выходе из волокна наблюдалась интерференционная картина, подтверждающая синфазность излучения. Второе проявление состояло в перекачивании мощности излучения в другие сердцевинки при заведении пробного излучения в одну из сердцевины. Было обнаружено, что степень перекачивания зависит от искривления волокна. Была достигнута перекачка энергии более 70 %.

Таким образом, в данной работе было показано, что фазовая синхронизация может быть достигнута внутри волокна без применения внешних элементов. Также, предложен новый механизм связи мод, основанный на их непрямом взаимодействии внутри волокна посредством центральной моды, распространяющейся между сердцевинами.

1. L. Li, A. Schulzgen, S. Chen, and V.L. Temyanko, Phase locking and in-phase supermode selection in monolithic multicore fiber lasers, *Optics Letters*, 31(17), 2577 (2006).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ РУБИНОВОГО ЛАЗЕРА ДЛЯ ИМПУЛЬСНОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ НА ФОТОПОЛИМЕРНОМ МАТЕРИАЛЕ

Н. А. Маракасов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время актуален поиск новых способов хранения цифровой информации, в том числе и хранение информации с помощью голограмм на фотополимерном материале. Запись голограмм с этой целью может осуществляться в новых полимерных материалах с помощью рубинового лазера, импульсное излучение которого должно обладать следующими параметрами: энергия импульса ~100 мДж, длина волны 600-700 нм, однородное поперечное распределение и достаточная продольная когерентность, порядка 1 см.

Указанные характеристики достигаются в традиционных лазерных системах типа задающий генератор с усилителем. Однако такие системы обладают низким КПД и достаточно громоздки. Повышение энергии излучения задающего генератора вызывает проблему селекции поперечных мод. Для повышения КПД и уменьшения габаритов установки предложено использование комбинированного способа селекции поперечных мод в задающем генераторе.

В лазере с рубиновым активным элементом была использована комбинация метода аподизации и метода нерезонансной обратной связи для повышения однородности распределения интенсивности в дальней зоне излучения с применением диафрагмы из рассеивающего материала. Метод аподизации используется для селекции поперечных мод. Наличие рассеяния в материале диафрагмы приводит к нерезонансной обратной связи и ослабляет зависимость пространственных характеристик лазерного излучения от оптических неоднородностей активной среды.

Были исследованы пространственные характеристики излучения лазера с рубиновым активным элементом с применением метода и без него. Показано, что применение диафрагмы из рассеивающего материала позволило приблизительно в 2 раза снизить угловую расходимость и повысить однородность углового распределения интенсивности излучения при энергии выходного излучения 600 мДж.

Впервые получен эффект импульсной записи объемной голографической решетки в образцах исследуемого полимерного голографического материала с красителем метиленового голубого.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, С. Л. Микерин.

ЛАЗЕРНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ КВАЗИСВОБОДНЫХ АТОМОВ В НЕДИССИПАТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ РЕШЕТКЕ

Н. А. Матвеева

Новосибирский государственный университет

В настоящей работе стандартный квазиклассический подход применяется для рассмотрения лазерного охлаждения квазисвободных атомов для $J \rightarrow J-1$ атомных переходов на примере простейшего перехода 1-0 в недиссипативной оптической решетке. Так же в системе присутствует поле накачки и магнитное поле, имеющие такую же конфигурацию, что и в предыдущей работе [1], в которой исследовался $J \rightarrow J$ переход $\frac{1}{2} - \frac{1}{2}$.

В пределе малого насыщения перехода полем накачки рассматриваемая система сводится к эффективной трехуровневой системе подуровней основного состояния. Для медленных атомов в данном приближении были получены аналитические выражения для коэффициентов трения α , вынужденной и спонтанной диффузии, и произведено их численное усреднение по периоду решетки. В пределе слабых рамановских переходов $\langle \alpha \rangle < 0$ при положительной эффективной отстройке Δ . Следовательно, механизм охлаждения отличен от доплеровского механизма в двухуровневой системе, что является характерной особенностью переходов $J \rightarrow J-1$. В пределе сильных рамановских переходов $\langle \alpha \rangle < 0$ так же при $\Delta > 0$, поэтому в этом пределе механизм охлаждения подобен сизифовскому.

Из рассмотрения эффективной трехуровневой системы видно, что область применимости приближения медленных атомов мала и для полного описания кинетики атомов необходим выход за его рамки. Для этой цели нами была найдена зависимость от скорости силы и коэффициентов спонтанной и вынужденной диффузии. При слабых рамановских переходах для $\Delta > 0$ при малых скоростях наблюдается нагрев, что соответствует оценкам в приближении медленных атомов, а при больших происходит изменение направления кинетического процесса и наблюдается охлаждение. Кроме того, в зависимости силы от скорости имеются селективные по скорости рамановские резонансы, так же имеющие характерные особенности, объясняющиеся спецификой данного перехода. Для оценки температуры атомов была найдена функция распределения ансамбля атомов по импульсам из численного решения уравнения Фоккера-Планка.

1. Н. А. Матвеева, А. В. Тайченачев, А. М. Тумайкин, В. И. Юдин, ЖЭТФ 132, 2 (2007).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ НА ДИНАМИКУ НЕЛИНЕЙНОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАННЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР В ФОТОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

В. Г. Миргород

Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Фотополимерные композиционные материалы (ФПКМ) в настоящее время являются одними из наиболее оптимальных сред по параметрам, чувствительности, разрешающей способности и дифракционной эффективности для записи дифракционных структур (ДС), имеющих широкое применение в технике волнового уплотнения, записи информации на голографические носители, дифракционной оптике. Такие среды состоят из полимерной и инертной (в качестве которой могут выступать наночастицы FeO_2 , TiO_2 , жидкие кристаллы (ЖК)) компонент, повышающих величину дифракционной эффективности.

Большинство проводимых исследований по данной тематике являются экспериментальными. Существующие теоретические модели не учитывают произвольную степень нелинейности процесса полимеризации, произвольное количество и поляризацию пучков. При этом процесс голографической записи в таких средах является существенно нелинейным по сравнению с наложенной интерференционной картиной [1].

В работе описывается полученная нелинейная модель голографического формирования сложных периодических фотонных структур в поглощающих ФПКМ в процессе одновременной записи несколькими световыми пучками с учетом взаимовлияния всех формируемых структур. Данная аналитическая модель предназначена для исследования влияния эффектов взаимовлияния наложенных дифракционных решеток (НДР), соотношения интенсивностей и поляризаций записывающих пучков, общей интенсивности освещения, внутренних условий записи – нелинейности фотополимеризационного процесса, соотношений вкладов инертной и диффузионной компоненты,

оптического поглощения, на временную динамику и пространственные профили формируемых пространственных гармоник НДР на ее основе.

1. В. Г. Миргород, Е. А. Довольнов, С. Н. Шарангович, Нелинейная модель многопучковой записи голографических фотонных структур в поглощающих фотополимерных композитах, Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. №2(16), 12 с. (2007).

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

РАСЧЕТ СПЕКТРА ОТРАЖЕНИЯ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ С АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫМИ ОШИБКАМИ ПРОФИЛЯ

А. В. Немыкин

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Волоконные брэгговские решетки (ВБР) в настоящее время являются неотъемлемым элементом оптических лазерных систем. Причиной тому является их простота, надежность и универсальность. На основе ВБР изготавливаются узкополосные фильтры, сенсорные устройства, компенсаторы групповой задержки сигнала. Для расчета спектра отражения применяется метод Т-матриц, дающий хорошие результаты для регулярных решеток. Однако на практике к регулярному профилю обычно добавляются ошибки изготовления ВБР, что приводит к выраженному изменению спектра и групповой задержки сигнала в зависимости от частоты [1, 2].

В данной работе изложена методика вычисления, позволяющая найти спектр отражения брэгговской решетки с профилем, отличающимся от идеального. Для этого строятся ряд теории возмущений и матрица Грина для уравнений связанных мод. После чего выводятся усредненные уравнения связанных мод с учетом корреляции флуктуаций коэффициента связи мод и амплитуды волны.

В качестве примера в работе получены усредненные уравнения связанных мод однородной решетки с гауссовым δ -коррелированным шумом. Найдены коэффициенты прохождения и отражения, усредненные по реализациям случайного процесса. Показано, что ошибки профиля уменьшают максимумы и увеличивают минимумы в спектре отражения. Подобный эффект сглаживания интерференционных провалов наблюдался

в численных расчетах спектра отражения аподизированной решетки с шумом, усредненного по 1000 реализациям [3].

-
1. A. V. Buryak, D. Yu Stepanov, Opt. Lett., 27 (13) 1099 (2002).
 2. P. I. Reyes, M. Sumetsky, N.M. Litchinitser, P.S. Westbrook, Opt. Express, 12 (12) 2676 (2004).
 3. R. Feced, M. N. Zervas, J. Lightwave Techn. 18 (1) 90 (2000).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Д. А. Шапиро.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОМПОНЕНТ МАНДЕЛЬШТАМА-БРИЛЛЮЭНА В ТОЛУОЛЕ

В. А. Попова

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Взаимодействие света с флуктуационными движениями среды приводит к модуляции световой волны, что эквивалентно появлению в спектре рассеянного света излучения новых частот. Это явление можно трактовать как неупругое рассеяние фотонов на акустических фонах. Спектр рассеянного света, представляет собой триплет, состоящий из центральной линии и двух компонент Мандельштама-Бриллюэна, расположенных на равном расстоянии по обе стороны от центральной линии. Анализ этих компонент позволяет получать информацию об акустических свойствах рассматриваемой среды.

В представленной работе исследовалось соотношение между величиной интенсивности упругой линии и величиной интенсивности компонент Мандельштама-Бриллюэна носящей название соотношения Ландау-Плачека. Для маловязких жидкостей оно определяется удельными теплоемкостями (при постоянном давлении и постоянном объеме) и величиной вязкости рассматриваемого вещества. В состоянии стекла это соотношение перестает выполняться, что связывают с появлением дополнительного рассеяния на нанометровых неоднородностях.

В качестве образца для экспериментов использовался толуол, предварительно очищенный от примесей и воздуха. Образец, запаянный в кювету, помещался в азотный криостат. Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна измерялось с использованием сканируемого давлением интерферометра Фабри-Перо с базой 4 мм, резкостью 40 и контрастностью

не менее 300. Источником излучения служил одночастотный He-Ne лазер. Измерения проводились в температурном диапазоне от температуры жидкого азота до комнатной.

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук А. М. Пугачев.

ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ НА ДИНАМИКУ В МОДЕЛИ НЕЛИНЕЙНОГО КОЛЬЦЕВОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

А. В. Савельева

Томский государственный университет

Нелинейный кольцевой интерферометр (НКИ) [1] – удобный механизм для диагностики винтовых дислокаций (ВД), т.е. особых точек на волновом фронте, в которых амплитуда светового поля превращается в нуль, а значение фазы не определено. Исследуется зависимость строения фазовых портретов динамики поля в модели НКИ от порядка ВД.

Описывая динамику нелинейного фазового набега $U(\mathbf{r}, t)$ в точке \mathbf{r} нелинейной среды (НС), учтём релаксацию, идущую со скоростью $1/\tau_n$, в НС. Среду характеризует коэффициент нелинейности K и показатель преломления $n = n_0 + n_2 E_{\text{вх}}^2$, определяемые степенью оптического эффекта Керра n_2 в НС и интенсивностью $E_{\text{вх}}^2$ излучения на входе НКИ. Делаются следующие приближения: имеет место один проход поля через контур обратной связи (КОС) НКИ; отсутствует перераспределение энергии поля по поперечному сечению пучка. Тогда в качестве математической модели динамики $U(\mathbf{r}, t)$ в НКИ служит уравнение

$$\tau_n dU(\mathbf{r}, t)/dt = -U(\mathbf{r}, t) + K + \gamma \cdot K \cdot \cos[\omega\tau + \varphi(\mathbf{r}, t) - \varphi(\mathbf{r}', t - \tau)],$$

где γ – характеристика потерь; $\tau = \tau(\mathbf{r}', t) = t_e(\mathbf{r}', t) + U(\mathbf{r}', t - t_e(\mathbf{r}', t))/\omega$; $t_e(\mathbf{r}', t)$ – эквивалентное время запаздывания поля за один обход НКИ, за исключением нелинейной составляющей; $\varphi(\mathbf{r}, t)$ – фаза $E_{\text{вх}}$; $\omega t_e(\mathbf{r}', t) \equiv \varphi_{\text{КОС}}(\mathbf{r}', t)$ – фазовый набег, приобретаемый полем в КОС.

Из вида построенных фазовых портретов на плоскости $U_1 O U_2$, можно заключить, что в зависимости от значения ВД при $\varphi_{\text{КОС}} = 0$ возможны три варианта аттрактора: особая точка типа фокус и два различных предельных цикла, которым удобно присвоить символ $N_s = 0, 1, 2$. Смена динамических режимов происходит *периодически*, с ростом порядка V_d (от 0 до 3 etc.) ВД по закону $N_s = V_d \bmod m$. Аналогично, если теперь фиксировать значение V_d , но варьировать $\varphi_{\text{КОС}} = j_\varphi 2\pi/m$, где j_φ – неотрицательное целое, то имеет место подобная же закономерность.

Обобщим наблюдения в виде: $N_s=(j_\phi+V_d)\bmod m$, где целое число m задаёт угол поворота поля (в поперечной плоскости лазерного пучка) в КОС.

1. Новые физические принципы оптической обработки информации: Сб. ст./Подред. С.А. Ахманова, М.А. Воронцова. – М.: Наука, 1990. 326 с.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Б. Н. Пойзнер.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА В СИЛИКАТНЫХ СТЁКЛАХ, ЛЕГИРОВАННЫХ НЕОДИМОМ

А. А. Спиридонов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

Комбинационное рассеяние (КР) света позволяет получить информацию о собственных колебаниях молекул и является одним из важнейших методов изучения их строения и процессов, происходящих в них. При приближении к полосе электронного пропускания (пики или края в спектре поглощения) наблюдается эффект резонансного КР (РКР). РКР характеризуется увеличением интенсивности КР на несколько порядков. Ранее РКР изучали в жидкостях и кристаллах, но не был изучен вопрос об особенностях спектра КР в материалах, содержащих примеси, находящиеся в условиях резонанса.

В данной работе экспериментально изучалась возможность наблюдения эффекта РКР в стёклах содержащих примесные редкоземельные ионы. При этом проявление эффекта ожидалось для низкочастотной части спектра КР, т.к. собственные высокочастотные колебания материала являются сильно локализованными, и примесные ионы не вовлечены в эти колебания. Низкочастотные колебания имеют коллективный характер, что предполагает участие примесных ионов в колебательном движении.

В работе были получены и исследованы спектры КР света коммерческих лазерных неодимовых стёкол ГЛС-1, ГЛС-8, ГЛС-19 и ЛГС-61. Спектры КР были получены при различных длинах волн возбуждающего излучения: 442 нм (гелий-кадмиевый лазер), 488 нм и 514 нм (аргоновый лазер), 532 нм (твердотельный лазер). Для исследуемых стёкол были измерены спектры поглощения. Сравнения с этими спектрами показали, что линии 488 нм и 442 нм соответствуют нерезонансным условиям, а линии 514 нм и 532 нм – условиям резонанса (охватывают пики поглощения). В качестве реперного материала использовалось

кварцевое стекло, не имеющее полос электронного поглощения в видимом диапазоне. В исследовании не удалось наблюдать резонансные эффекты, которые могли бы быть отнесены к содержащейся примеси неодима. Наблюдаемые отличия спектров КР при изменении длины волны возбуждения не были пропорциональны концентрации неодима в образцах. Сделан вывод, что предполагаемый эффект РКР на примесных редкоземельных ионах является слабым.

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

ИМПУЛЬСНЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ CO₂ ЛАЗЕР

Н. С. Тарасов, Д. С. Чуркин
Институт лазерной физики СО РАН
Новосибирский государственный университет

Сообщается о получении генерации в импульсном индукционном разряде в инфракрасной области спектра на колебательно-вращательных переходах основного электронного состояния молекул CO₂ ($\lambda=10,6$ мкм).

Разработана и экспериментально реализована система формирования импульсного индукционного цилиндрического разряда в газовых смесях He:N₂:CO₂.

Описываются результаты экспериментальных исследований по получению генерации и изучению энергетических и временных характеристик генерации импульсного индукционного CO₂ лазера. В экспериментах была использована керамическая разрядная трубка с внутренним диаметром 34 мм. На трубке располагался индуктор в виде соленоида длиной 650 мм, состоящего из набора секций, количество которых зависело от числа витков в секции. Сечение провода составляло 1,5 мм². Резонатор был образован двумя плоскими зеркалами. В качестве заднего плотного зеркала использовалось зеркало с золотым напылением. В качестве выходного зеркала использовалось диэлектрическое зеркало с пропусканием 40%. Проведена оптимизация состава газовой смеси. Максимальная энергия генерации была получена в смеси He:N₂:CO₂ – 12:4:1 при давлении 13 – 14 торр и была равна 100 мДж. Показана возможность работы лазера в импульсно-периодическом режиме с частотой следования импульсов до 50 Гц. При энергии генерации 30 мДж и частоте следования импульсов 50 Гц получена средняя мощность 1,5 Вт. Длительность импульсов излучения, измеренная на полувысоте, составила

170 мкс. Поперечное сечение светового пучка имело форму кольца с внешним диаметром 34 мм и толщиной 4 – 6 мм.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук А. М. Ражев.

АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХАТОМНЫХ МОЛЕКУЛ (CO, NO) В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР(300-3000К)

Н. А. Торопов

Томский государственный университет

Молекулы CO, NO входят в состав атмосферы и являются продуктами сгорания различных топлив. Знание эффектов поглощения и излучательной способности этих газов позволяет анализировать процессы горения и делать выводы о функционировании различных двигателей. С точки зрения фундаментальных исследований влияние колебательно-вращательных (КВ), спин-вращательных и спин-спиновых взаимодействий на спектральные характеристики этих газов дает возможность определить иерархию моментов в молекулах, которая наиболее ярко проявляется при высоких температурах.

Сравнение результатов расчета уровней энергии с экспериментом для этих условий показало, что для высоких КВ состояний наблюдается значительное расхождение ($\sim 1 \text{ см}^{-1}$).

Стремление улучшить ситуацию привело к необходимости переопределения входных данных для расчета КВ уровней энергии с использованием современных достижений в экспериментальной молекулярной спектроскопии, когда точность определения центров линий составляет $\sim 10^{-4} \text{ см}^{-1}$.

Методами минимизации были определены новые значения постоянных Данхэма (Dunham), позволяющие рассчитать энергии КВ уровней CO для очень высоких энергетических состояний (максимальные значения колебательного и вращательного квантовых чисел достигают 16 и 60, соответственно). Выполнена верификация полученных постоянных на основе независимых экспериментальных данных из мировой литературы и проведен анализ адекватности эксперименту рассчитанных значений энергии.

Проведены расчеты спектральных характеристик (функции пропускания и коэффициента поглощения) оксидов азота и углерода в диапазоне температур 300-3000К для различных пространственных

профилей концентрации этих газов. Оценено влияния полученных результатов на численные значения ослабления излучения, как для однокомпонентного газа, так и для смеси газов.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. О. К. Войцеховская.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ СВЕТОДИОДОВ

Е.В. Удальцов, Д.Ф. Скларов
Институт лазерной физики СО РАН

Ультрафиолетовая (УФ) область 250-400нм весьма перспективна для систем оптической регистрации информации, построения систем атмосферной оптической связи. Проектирования различных датчиков за счет регистрации эффектов возникающих при взаимодействии УФ излучения с веществом или непосредственно с атмосферой и др.

Повсеместное использование этой области спектра до сих пор сдерживалось отсутствием эффективных и портативных излучателей, но с развитием полупроводниковой техники и её переходом в УФ диапазон в качестве источников излучения могут быть использованы полупроводниковые светодиоды.

При конструировании оптических систем часто возникает необходимость работы не только с интегральным потоком излучения, но и учитывать характер изменения его модовой структуры. Определение структуры пучка расчетным путем, является сложной математической задачей со многими неизвестными, приблизительное решение которой сильно сказывается на чувствительности прибора, линейности его характеристики и ограничивает возможности его использования в неоднородных условиях.

В докладе описывается практическая реализация метода видеодиагностики в УФ диапазоне. Проведен анализ и спектральные измерения современных фотолуминесцентных материалов для экрана, с которого происходит считывание картины распределения интенсивности в сечении пучка. Определен спектр задач решаемых с помощью данного метода и пути их решения с использованием персонального компьютера. Показаны возможности метода на примере светодиодов ближнего УФ диапазона. Даны предпосылки реализации данной методики в автоматическом режиме. В дальнейшем планируется определить изменения, вносимые в пучок неоднородными оптическими средами и

создание алгоритмов автоматического определения неоднородностей вызванных дефектами излучающего кристалла и колпака СИД.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. Б. В. Поллер.

ДИНАМИКА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ ПРИ ИХ ФИЛАМЕНТАЦИИ В ГАЗАХ

С. А. Фролов

Институт лазерной физики СО РАН
Новосибирский государственный университет

При распространении мощных фемтосекундных происходит самовоздействие излучения на параметры среды, что приводит к преобразованию спектральных, временных и пространственных параметров импульсов, формированию нитевидных каналов – филамент, с высокой интенсивностью лазерного излучения, генерации широкополосного излучения – суперконтинуума.

В данной работе теоретически и экспериментально исследованы возможности управления параметрами фемтосекундных импульсов и спектром генерируемого континуума при их филаментации в газах.

В работе развивается методика моделирования явлений филаментации, основанная на численном решении системы уравнений, состоящей из нелинейного уравнения Шредингера для сред с кубической нелинейностью и уравнения, описывающего динамику изменения плотности свободных электронов в лазерной плазме [1] при распространении как одиночных, так и сдвоенных импульсов.

Численное моделирование позволило определить условия генерации одиночного сжатого импульса, влияние параметров излучения и давления газа на область существования режима временного самосжатия. При этом учитывалась необходимость того, чтобы одиночный импульс формировался после окончания процесса филаментации. Показано, что использование последовательности фемтосекундных импульсов позволяет существенно увеличить длину филаменты в режиме одиночной филаментации и эффективность генерации суперконтинуума. Изменение задержки между импульсами приводит, в этом случае, как к изменению длины филаменты, так и к ее месторасположению в пространстве.

На основе результатов численного моделирования, экспериментально реализованы режимы временного самосжатия фемтосекундных импульсов

в Ag и Xe , показана возможность управления параметрами филаменты и генерируемого суперконтинуума с использованием импульсов на длинах волн 800нм и 400нм с различной поляризацией.

I. Mlejnek, M., Wright, E.M., Moloney, J.V., Dynamic spatial replenishment of femtosecond pulses propagating in air. Opt. Lett. 23, 382. (1998).

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

СПЕКЛ-СТРУКТУРА ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ, ОСВЕЩАЕМЫХ МОНОХРОМАТИЧЕСКИМ КОГЕРЕНТНЫМ ТЕРАГЕРЦОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

О. И. Чащина

Новосибирский государственный университет

При регистрации когерентного монохроматического излучения отраженного от шероховатых объектов или прошедшего через случайно-неоднородные среды вследствие интерференции возникает зернистая картина, называемая спекл-структурой [1]. Это явление, хорошо известное в видимом диапазоне спектра, еще не наблюдалось в терагерцовом (субмиллиметровом) диапазоне. Появление в Новосибирске мощного монохроматического когерентного источника терагерцового излучения, лазера на свободных электронах (ЛСЭ) [2] впервые дало возможность наблюдать спеклы и в этом диапазоне. Как известно, спеклы, с одной стороны, ухудшают качество изображений, что вызывает необходимость разработки методов повышения качества изображений, с другой, могут быть использованы в метрологических целях. Целью данной работы были исследования характеристик «терагерцовых» спеклов и оценка возможности создания систем терагерцовой спекл-фотографии и спекл-интерферометрии.

Излучение ЛСЭ мощностью до 100 Вт отражалось от медной фольги со случайными неоднородностями, размер которых существенно превышал длину волны, равную 130 мкм, при которой проводились эксперименты. Регистратором излучения служила матрицы микроболлометров [3] с числом элементов 160×120 и размером 8×6 мм. Были исследованы размеры спеклов, их статистические характеристики, измерены размеры области подобия спекл-картин, полученных при распространении рассеянной волны в свободном пространстве и в режиме изображения. Показано, что характеристики спеклов в данном диапазоне

длин волн соответствуют теоретическим оценкам. Рассмотрены возможные схемы терагерцовой спекл-интерферометрии и их применение для исследования деформации и перемещения объектов.

1. М. Франсон. Оптика спеклов. М.: Мир, 1980.
2. V. P. Bolotin, N. A. Vinokurov, N. G. Gavrilov, et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A **557**, 23-27, 2006.
3. М. А. Дем'яненко, Д. Г. Есаев, В. А. Князев, et al. Applied Physics Letters, 2008 (в печати).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ АЗИМУТАЛЬНОЙ АНИЗОТРОПИИ В ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛАХ

В. П. Чубаков

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Использование фотонных кристаллов (ФК) открывает возможность к созданию низкороговых лазерных излучателей для видимого и ближнего инфракрасного диапазонов, снижению коэффициента затухания в оптических волокнах и созданию сверхбыстрых, оптических переключателей потоков информации. В трехмерных ФК диэлектрическая проницаемость периодична во всех трех измерениях, поэтому в таких структурах возможно образование полной запрещенной зоны. Наличие фотонной запрещенной зоны обуславливает эффект локализации света - в некотором спектральном диапазоне свет любой поляризации не может войти в образец или выйти из него ни в каком направлении. Однако реальные фотонные кристаллы обладают пространственной анизотропией прохождения света [1].

Данная работа посвящена экспериментальному изучению спектров пропускания света при различных углах падения по отношению к плоскости (111) гранецентрированной кубической решетки – элементарной ячейки ФК. Объектом исследования в работе являлись монокристаллические пленки опала, приготовленные на стеклянных подложках из суспензии монодисперсных сферических частиц кремнезема [2]. Исследованы образцы с разным количеством слоев и диаметром сфер. Показано, что анизотропия распространения света однозначно связана с фотонной зонной структурой опала и зависит от угла падения и длины

волны падающего света. Измерены азимутальные диаграммы пропускания поляризованного света при наклонном падении пучка света. Показано, что модель зонной структуры опала, как гранецентрированной кубической решетки плотноупакованных сфер, адекватно описывает оптическое пропускание пленок опалов. Найдено, что изменение анизотропии с длиной волны света происходит независимо от поляризации света.

1. С.Г. Романов, Анизотропия распространения света в тонких пленках опалов, Физика твердого тела, том 49, вып. 3, 522 (2007).

2. А.И. Плеханов, Д.В. Калинин, В.В. Сердобинцева, Нанокристаллизация монокристаллических пленок опала и пленочных опаловых гетероструктур, Российские нанотехнологии, №1-2, 240 (2006).

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

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ УСТРОЙСТВА ОПРОСА СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК

И. С. Шелемба

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Одной из перспективных задач волоконной оптики является разработка новых методов и приборов для опроса сенсоров на основе волоконных брэгговских решеток (**ВБР**). ВБР представляет собой участок волоконного световода, в сердцевине которого наведена структура показателя преломления с периодом $\Lambda \sim 0.5$ мкм [1]. Наиболее важным свойством такой структуры является отражение оптического излучения, на длине волны $\lambda_0 = 2\Lambda n$, где n - эффективный показатель преломления. Возмущение состояния решетки (растяжение, нагрев) вызывает изменение положения максимума в спектре отраженной волны, пропорциональное величине возмущения (нагрев на 1°C соответствует сдвигу на $0,01$ нм).

Для измерения таких сдвигов был разработан перестраиваемый эрбиевый лазер [2], с перестраиваемой брэгговской решеткой, использующейся в качестве элемента, селективирующего длину волны излучения. Деформации решетки осуществлялись при помощи сжимающего устройства, оборудованного шаговым двигателем (**ШД**), управляемым при помощи компьютера. Основными проблемами

использования подобного селектора являются неудовлетворительная повторяемость перестроечных кривых, что обусловлено нелинейностью зависимости длины волны отражения от кол-ва оборотов ШД, и отсутствие реперов для привязки к абсолютному значению длины волны.

В данной работе предложен метод, основанный на использовании интерферометра Маха-Цандера с областью свободной дисперсии ~ 500 МГц и термостабилизированной реперной ВБР для учета нелинейностей селектора, а также для пересчета кол-ва оборотов ШД в абсолютные значения длины волны отражения с высокой точностью.

1. С.А. Васильев, О.И. Медведков, И.Г. Королев, А.С. Божков, А.С. Курков, Е.М. Дианов, «Волоконные решетки показателя преломления и их применения», *Квант. электроника*, **35** (12), 1085-1103 (2005).

2. S. A. Babin, S. I. Kablukov, I. S. Shelemba, A. A. Vlasov, «An Interrogator for a Fiber Bragg Sensor Array Based on a Tunable Erbium Fiber Laser», *Laser Physics*, 2007, Vol. 17, No. 11, pp. 1340–1344.

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

ИНТРОСКОПИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРАГЕРЦОВОГО ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

С.А. Жигач, А.В. Конышева

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

Новосибирский государственный университет

Новосибирский государственный технический университет

В центре фотохимических исследований СО РАН запущен лазер на свободных электронах, генерирующий монохроматическое, когерентное излучение со средней мощностью порядка 100 Вт, плавно перестраиваемое в диапазоне длин волн 120 – 240 мкм. Появление такого источника излучения дает возможность исследовать объекты и субстанции, непрозрачные в оптическом диапазоне, но частично прозрачные в терагерцовом диапазоне, методом спектрально-селективной интроскопии. Настоящая работа посвящена созданию квазиоптической системы по схеме Теплера для исследования деформации и разрушения твердых тел и пленочных материалов. Поскольку стандартных элементов для терагерцового диапазона не существует, для реализации схемы было необходимо (а) создать фокусирующие элементы, (б) разработать

двухкоординатные регистраторы излучения, (в) создать абсолютные измерители мощности терагерцового излучения.

Были изготовлены и испытаны отражающие элементы с параболическим профилем (далее – «киноформные линзы») [1], адаптированы для регистрации терагерцового излучения термочувствительные люминесцентные экраны, создана система абсолютных измерений распределения плотности мощности терагерцового излучения на основе термочувствительного интерферометра [2]. Собрана и прокалибрована схема Теплера. Написаны программы обработки данных. Проведены исследования процессов деформации и разрушения твердых тел и полимерных пленок.

1. Н.А. Винокуров, Б.А. Князев, Г.Н. Кулипанов и др., Визуализация излучения мощного терагерцового лазера на свободных электронах с помощью термочувствительного интерферометра, Журн. тех. физ. том 77, вып. 7, стр. 91-100 (2007).

2. Н.А. Винокуров, С.А. Жигач, Б.А. Князев и др., Дифракционные оптические элементы и квазиоптические схемы для экспериментов на мощном терагерцовом лазере на свободных электронах, Известия вузов. Радиофизика, том L, № 10-11 (в печати).

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. Б.А. Князев, д-р физ.-мат. наук., проф. Л. А. Мержиевский.

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

ЗАХВАТ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В INAS/ALAS КТ

Д. С. Абрамкин

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

Последние десятилетия внимание исследователей привлекают системы InAs квантовых точек (КТ). Важным вопросом при рассмотрении этих КТ является захват носителей заряда в КТ. Времена захвата, рассчитанные с учётом эффекта “бутылочного горлышка”, в хорошо изученной системе КТ InAs/GaAs составляют единицы наносекунд [1]. Тем не менее, экспериментально показано, что эти времена составляют десятки пикосекунд [2]. В работе [3] предполагалось, что существенную роль в быстром захвате носителей заряда в КТ играет релаксация через состояния смачивающего слоя (СС). КТ InAs/AlAs подобны по своей геометрии КТ InAs/GaAs. Однако отличие зонных структур этих систем может повлиять на процессы, протекающие в СС системы КТ InAs/AlAs. Цель данной работы заключается в изучении роли СС в захвате носителей заряда в структурах с КТ InAs/AlAs.

Проведены измерения температурных зависимостей стационарной и нестационарной фотолюминесценции (ФЛ) структур с InAs/AlAs КТ. Обнаружено, что при температуре 5 К ФЛ СС затухает существенно медленней, чем ФЛ КТ, что говорит о локализации носителей заряда в СС. С повышением температуры с 5 до 25 К наблюдается ускорение затухания ФЛ СС. Это ускорение может быть связано с захватом носителей заряда из СС в КТ. Для проверки этого предположения были проведены измерения температурной зависимости спектра стационарной ФЛ структуры с InAs/AlAs КТ. С повышением температуры от 5 до 100 К ФЛ СС полностью гаснет, в то время как интенсивность ФЛ КТ остается практически неизменной. Это говорит о том, что с повышением температуры носители заряда из СС не попадают в КТ, а уходят рекомбинируют через другие каналы.

Таким образом, показано, что СС не играет существенной роли в захвате носителей заряда в InAs/AlAs КТ.

-
1. H. Benisty, Phys. Rev. B 51, 13281 (1995);
 2. C. Lobo N. Perret, and D. Morris Phys. Rev. B. 6 2, 2737 (2000);

3. Y. Yoda, O. Moriwaki, M. Nishioka and Y. Arakawa, Phys. Rev. Lett. 82, 4114 (1999).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Т. С. Шамирзаев.

О СТАБИЛЬНОСТИ КОМПЛЕКСОВ, ОБРАЗОВАННЫХ СЕРОЙ И МАРГАНЦЕМ В КРЕМНИИ

Улугбек Абдиев

Самаркандский государственный университет

В [1] сообщалось о том, что при определенных условиях легирования кремния р-типа с $\rho \sim 10$ Ом·см примесями серы и марганца электроактивные атомы примесей образуют между собой электронейтральные комплексы. Наиболее эффективное комплексообразование происходит после введения серы при 1250°C , затем марганца 1100°C . В этом случае электрические свойства материала восстанавливаются, что и говорит об электронейтральности таких комплексов. В настоящей работе исследовано влияние термообработки (ТО) при различных температурах на стабильность таких комплексов с целью получения дополнительной информации о природе комплексов и уточнения их вклада в кинетику образования термодефектов. Для этого по технологии [1] готовили образцы Si, последовательно легированные бором, серой и марганцем при указанных выше температурах. Затем образцы подвергали изохронному отжигу в интервале $150-1150^{\circ}\text{C}$ в течение 1 часа. После каждого цикла отжига измеряли удельное сопротивление образца при комнатной температуре и тип проводимости. Для сравнения в каждом случае изохронному отжигу подвергали также контрольные образцы Si<B,S> и Si<B,Mn>, изготовленные при тех же условиях.

Из полученных результатов видно, что до ТО параметры образцов Si<B,S,Mn> сравнимы с параметрами исходного материала до легирования: проводимость р-типа с $\rho = 10$ Ом·см. Это свидетельствует о том, что практические все электроактивные атомы, как серы, так и марганца связаны в электронейтральные комплексы и их концентрация, согласно расчетам, составляет $\sim 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, а оставшаяся часть серы ($\sim 1,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) находится в неравновесном состоянии в центрах распада, куда она попадает при легировании марганцем при 1100°C . В процессе последующих отжигов в интервале $150-1100^{\circ}\text{C}$ в течение 1 часа образцы Si<B,S,Mn> практически не меняют свои электрические параметры. Выше

1100⁰С наблюдается рост удельного сопротивления, а дальнейшее увеличение температуры приводит к изменению типа проводимости, т.е. при 1150⁰С материал становится полупроводником n-типа проводимости с $\rho \sim 32 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ за счет активации неравновесных атомов серы.

1. Бахадырханов М.К., Аскарлов Ш.И., Норкулов Н. Физика и техника полупроводников. 1987. Т. 21. Вып. 8. С.1456-1459.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Т. У. Тошбоев.

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ТУШЕНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК GaN/AlN

И. А. Александров

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

Низкоразмерные структуры на основе нитридов металлов третьей группы (AlN, GaN, InN) в настоящее время представляют большой интерес благодаря возможности их практического применения. В частности, структуры с GaN квантовыми точками (КТ) пригодны в качестве активных областей светодиодов и лазерных диодов ультрафиолетового и видимого диапазона и инфракрасных фотоприёмников. Ограничение носителей заряда в квантовых точках, затрудняющее их миграцию к каналам безызлучательной рекомбинации, позволяет повысить эффективность и температурную стабильность светоизлучающих приборов. Целью работы является исследование термического тушения ФЛ в GaN/AlN КТ и изучение механизмов тушения ФЛ. Для этого было проведено исследование стационарной ФЛ при температурах от 5 до 300 К для нескольких структур с GaN/AlN КТ, с различным средним размером КТ.

Основным механизмом тушения ФЛ КТ при высоких температурах считается термический выброс носителей заряда из КТ с последующей безызлучательной рекомбинацией в матрице, при этом энергия активации тушения ФЛ совпадает по порядку величины с разностью ширины запрещенной зоны барьера и энергии максимума ФЛ [1]. Экспериментально полученные значения энергии активации для GaN/AlN КТ более чем на порядок меньше ожидаемых при механизме тушения через термический выброс из КТ значений. Таким образом, в нашем случае термическое тушение ФЛ определяется другими механизмами, из которых наиболее вероятны следующие: Оже-рекомбинация,

безызлучательная рекомбинация через глубокие центры внутри и вне КТ. Для случая, когда центры безызлучательной рекомбинации находятся вне КТ, малая энергия активации по сравнению с величинами барьеров для электрона и дырки может быть объяснена тем, что захват на дефекты происходит непосредственно с уровней квантования через туннелирование. При этом процесс будет термоактивируемым, если вероятность туннелирования с возбужденного состояния больше, чем с основного.

1. E. C. Le Ru, J. Fack, and R. Murray, Phys. Rev. B 67, 245318 (2003).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, в.н.с. К. С. Журавлев.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЧИЩЕНИЮ ОБЪЕМА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ОТ НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ БЫСТРО ДИФФУНДИРУЮЩИХ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ

Зарифа Алимова

Самаркандский государственный университет

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.

Наиболее близким к предлагаемому нами способу является способ обработки кремния, включающей введение в образцы кремния примесей, образующих при последующем отжиге электронейтральные комплексы с быстродиффундирующими примесями. Предлагаемый нами способ позволяет повысить эффективность нейтрализации БДП в кремнии путем селективного связывания в электронейтральные химически связанные комплексы по всему объему кристалла. Это достигается тем, что при обработке кремния, вводится примесь, образующая при последующем отжиге электронейтральные комплексы с БДП. В качестве примеси используют серу, которую вводят методом диффузии до определенной растворимости. Термоотжиг проводят в течение 30-60 минут при

температурах 780-800°C, 800-820°C, 1100-1150°C и 720-740°C для нейтрализации кобальта, никеля, цинка и кадмия, соответственно.

Предлагаемый нами диффузионный 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. 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 $T > 750^\circ\text{C}$.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Т. У. Тошбоев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕЗАРЯДКИ МДП-ЭЛЕМЕНТА ПАМЯТИ С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ ГЕРМАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ПЛАВАЮЩЕГО ЗАТВОРА.

С. А. Аляжкин

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

Элементы памяти являются неотъемлемой частью многих портативных устройств, таких как сотовые телефоны, переносные видеокамеры, mp3-плееры. Flash-память, конструируемая на базе МОП-транзисторов с плавающим затвором, используемая в этих устройствах, обладает рядом необходимых свойств: энергонезависимость, низкое рабочее напряжение, высокая скорость записи/чтения информации, высокая плотность элементарных ячеек памяти.

Для улучшения характеристик работы элемента памяти было предложено в качестве плавающего затвора использовать квантовые точки (КТ) Ge. Использование КТ позволяет увеличить время хранения заряда с одновременным увеличением скорости записи/чтения информации за счет блокировки латерального переноса заряда внутри плавающего затвора, что уменьшает утечки через локальные дефекты в диэлектрике, т.к. носители заряда (электроны/дырки) локализованы на состояниях в КТ.

Основной задачей данной работы является изучение процессов перезарядки МДП-конденсатора с квантовыми точками, захороненными в

диэлектрике. Основной методикой, используемой в данной работе, является измерение высокочастотных (1МГц) вольт-фарадных характеристик. Методика позволяет зарегистрировать наличие “эффекта памяти“, изучить электрические свойства структур, провести анализ энергетического спектра носителей, захваченных на локализованные состояния в диэлектрике.

В данной работе проведено сопоставление МДП-конденсаторов с поли-кремнием и Ge КТ в качестве плавающего затвора, и продемонстрирован положительный эффект при использовании Ge КТ. Проведено компьютерное моделирование вольт-фарадных характеристик данных структур. В результате сравнения экспериментальных и теоретических CV-характеристик были вычислены плотности заряда, соответствующие электронной и дырочной зарядке структуры, найдены значения уровней энергии для электронов и дырок в КТ Ge, захороненных в SiO₂, рассчитана зонная структура МДП-конденсатора для режимов записи, чтения и хранения информации.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Н. П. Степина.

АТОМНОЕ ВЫГЛАЖИВАНИЕ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ В УСЛОВИЯХ, БЛИЗКИХ К РАВНОВЕСНЫМ

И. О. Ахундов, А. С. Васильев

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

Атомно-гладкие поверхности полупроводников важны как для научных исследований, так и для практических применений. Задача приготовления атомно-гладкой поверхности арсенида галлия и других соединений A³B⁵ путём отжига осложняется различной летучестью паров элементов III и V групп. В работе [1] был предложен метод выглаживания GaAs, состоящий в отжиге в условиях, близких к равновесию поверхности полупроводника с газовой фазой, когда подавлены и рост, и сублимация. Такие условия были реализованы в узком зазоре между двумя пластинами GaAs, а также в квазизамкнутом объёме – графитовой кассете, содержащей насыщенный раствор-расплав Ga-GaAs. Задачей данной работы является экспериментальная проверка степени равновесности условий, реализованных в экспериментах по выглаживанию GaAs.

Степень равновесности условий определялась по скорости роста или сублимации кристалла, о которой, в свою очередь, можно судить по

направлению и скорости движения моноатомных ступеней на вицинальной поверхности. Скорость движения ступеней определялась с помощью мезаструктуры размером 5×5 мкм², изготовленной анодным окислением, стимулированным иглой атомно-силового микроскопа, и последующим химическим удалением оксида. Предполагалось также, что при росте или сублимации будет происходить формирование атомно-гладкой, бесступенчатой поверхности мезаструктуры за счет "сбегания" ступеней в сторону нижней или верхней террас, соответственно. При температуре 650°C, когда происходит формирование атомно-гладких террас, разделенных моноатомными ступенями, нам не удалось обнаружить ни роста, ни сублимации, поскольку не было зафиксировано движения ступеней в пределах точности эксперимента. Верхняя оценка скорости роста (сублимации) составила 5×10^{-4} монослоя в секунду. Таким образом, условия атомного выглаживания GaAs в наших экспериментах близки к равновесным.

I. V.L. Alperovich, O.E. Tereshchenko, N.S. Rudaya, D.V. Sheglov, A.V. Latyshev, A.S. Terekhov. Proc. 12th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology", St. Petersburg, Russia, 21-25 June, 2004, p. 203.

Научный руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Л. Альперович, канд. физ.-мат. наук Д. В. Щеглов.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРУКТУРЫ n-InSb/n-PbTe/n-CdTe, ИЗГОТОВЛЕННОЙ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНО-ИМПУЛЬСНОГО ОСАЖДЕНИЯ

Г. Г. Варданян

Институт радиофизики и электроники НАН Армении

В данной работе исследованы электрические и фотоэлектрические свойства структуры n-InSb/n-PbTe/n-CdTe, изготовленной методом лазерно-импульсного осаждения. Для сравнения с фотоэлектрическими свойствами структуры n-InSb/n-PbTe/n-CdTe в тех же технологических условиях был изготовлен изотипный гетеропереход (ГП) n-InSb/n-CdTe. Тонкие (200 нм) плёнки соединений PbTe и CdTe получены на подложке n-InSb ($n=3.1 \times 10^{14}$ см⁻³) при температуре 550 К поочерёдным нанесением слоёв элементов, входящих в состав этих соединений. Измерения спектров фотоотклика проведены при температуре 120 К. В исследуемом энергетическом диапазоне (0.2-1.1 эВ) изменения знака фотоотклика на ГП

n-InSb/n-CdTe не наблюдается. Промежуточный слой n-PbTe существенно меняет характер фотоотклика структуры n-InSb/n-CdTe. На кривой спектральной зависимости фотоотклика структуры n-InSb/n-PbTe/n-CdTe наблюдается изменение знака как при нулевом смещении (вблизи 0.24 эВ), так и при приложенных внешних напряжениях. Температурная зависимость темновых ВАХ структуры n-InSb/n-PbTe/n-CdTe измерена в криостате модели VPF100. Нелинейность на ВАХ наблюдается ниже температуры 140 К. От 80 К до 100 К ВАХ подобны характеристикам однобарьерных n^+-n переходов с медленно меняющимся от температуры напряжением отсечки ($V_{отс}$) (при отрицательном смещении на CdTe). При увеличении температуры наблюдается резкое уменьшение $V_{отс}$. Иначе обстоит дело, когда положительное смещение подано на InSb. В температурном интервале от 115 К до 125 К напряжение отсечки составляет 0.15 В (тогда как при положительном смещении на CdTe, $V_{отс} = -0,16$ В). Ниже и выше этих температур имеет место резкое уменьшение $V_{отс}$. Подобное поведение ВАХ можно объяснить лишь появлением в узком диапазоне температур (от 115 К до 125 К) барьера для носителей со стороны InSb, что строго связано с температурными зависимостями концентрации электронов в n-InSb и n-PbTe.

Работа выполнена в рамках государственной целевой программы Республики Армения «Полупроводниковая наноэлектроника»

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук К. Э. Авджян.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДНОЙ ПЛЕНКИ НА АЛЮМИНИИ: ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ И НАПРЯЖЕННОСТИ ПРОБОЯ ПЛЕНКИ, ПОЛУЧАЕМОЙ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

А. В. Гапченко

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Тонкие, толщиной порядка сотни нм, пленки используются в различных областях науки и промышленности: в электролитических конденсаторах, полевых транзисторах, для антикоррозийной защиты поверхностей.

В данной работе исследовалась зависимость толщины пленки оксидов, образующихся в процессе электролиза 33% раствора силиката натрия на алюминиевом аноде, от напряжения электролиза. Применялся метод дифференцирующей цепочки, при котором система из анода, пленки на

нем и раствора рассматривается как конденсатор. На основе этого конденсатора была собрана дифференцирующая цепочка, которая преобразует сигнал в форме меандра в сигнал спадающей экспоненты. Емкость пленки определялась, исходя из параметров преобразованного сигнала. В подготовительной части работы мы качественно наблюдали процесс образования пленки, а также были проведены наблюдения ее электрического пробоя в растворе и в вакуумной камере. В первой части исследования мы изучили зависимость емкости пленки от времени ее образования. При исследовании пленки во второй части работы мы определили характер зависимости ее емкости от напряжения образования. В третьей части исследования пленка рассматривалась как стабилитрон. По графику преобразованного сигнала было определено напряжение, при котором происходит пробой пленки.

В работе получены следующие результаты.

Зависимость толщины пленки от времени выходит на постоянное значение за время порядка 1 мин. Зависимость емкости пленки от напряжения ее образования описывается уравнением $C[\Phi] = (1054.8 \cdot U[V] + 12554)^{-1} \pm 10\%$. Зависимость толщины пленки оксида от напряжения образования определяется уравнением $d[\text{нм}] = (8 + 0.6 \cdot U[V]) \pm 10\%$. При полярности «-» на алюминии напряженность пробоя пленки составляет $(3.5 \pm 0.2) \cdot 10^7$ В/м. При полярности «+» на алюминии напряженность пробоя пленки $\geq 5 \cdot 10^8$ В/м.

1. Хоровиц, Хилл. Искусство схемотехники, М. 2001.
2. И.К. Кикоин. Таблицы физических величин. М. 1976.
3. В.М. Байрамов. Основы электрохимии.

Научный руководитель – мл. науч. сотр. ИЯФ В. Г. Пресекин.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ (111) С КИСЛОРОДОМ ВБЛИЗИ КРИТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Н. А. Гладких

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный технический университет

Несмотря на то, что процесс окисления кремния давно и широко используется в микроэлектронике, начальные стадии окисления атомарно чистой поверхности кремния и рост атомно-тонких слоев оксида до сих

пор являются предметом исследований [1,2]. В настоящей работе предпринята попытка создания имитационной модели окисления Si(111) кислородом вблизи критических условий.

В работе было проведено моделирование методом Монте-Карло взаимодействия поверхности Si(111) с кислородом с использованием программного комплекса SilSim3D-7comp, разработанного в нашей лаборатории. Схема и параметры реакций подобраны таким образом, чтобы критические условия, разделяющие область травления кремния и область роста окисла соответствовали экспериментальным данным. В схему была включена реакция образования и распада монооксида кремния. Именно эта реакция определяет скорость накопления кислорода на поверхности Si(111). Критические условия находились по переходу от травления кремния к росту окисла. При травлении потоки кислорода к и от поверхности Si были равны, покрытие подложки кислородом стационарно. При окислении наблюдалось уменьшение десорбции и линейный рост количества кислорода на подложке. Использовалась вицинальная подложка кремния со ступенями моноатомной высоты. Моделирование проводилось при различных температурах и давлениях кислорода. Как и в эксперименте [3] движение ступеней при низких давлениях происходит в сторону верхних террас, при этом сами террасы остаются гладкими. При увеличении давления и уменьшении температуры на террасах сначала образуются вакансионные островки, а затем происходит рост окисла.

Таким образом, подобранная схема и параметры реакции правильно описывают процесс взаимодействия кислорода с атомарно-чистой поверхностью Si(111).

-
1. С. Krzeminski et al., Applied Physics 101, 064908 (2007).
 2. А.А. Shklyaev et al., Physical Review B, V. 54, N. 15 (1996).
 3. С.С. Косолюбов и др., ФТП, том 35, вып. 9., 1084 (2001).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук З. Ш. Яновицкая.

ИЗУЧЕНИЕ ПРЕЛОМЛЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ ИЗ p^+ -GaAs(Cs,O).

Д. В. Горшков

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

При переходе фотоэлектрона через границу раздела p^+ -GaAs(Cs,O) – вакуум его траектория изменяется из-за квантовомеханического эффекта преломления и рассеяния по импульсу на дефектах и примесях.

Целью работы является изучение данного явления с использованием баллистических фотоэлектронов [1]. Фотоэлектроны называются баллистическими на этапе движения от момента “рождения” до первого столкновения. Использование метода баллистических фотоэлектронов позволяет создать в полупроводнике группу электронов с определенной энергией и направлением движения, зависящими от энергии фотонов и поляризации возбуждающего света.

Для изучения преломления и рассеяния фотоэлектронов на GaAs – фотокатод направляется тонкий пучок монохроматического поляризованного света. Возбужденные фотоэлектроны выходят в вакуум и попадают в однородное тормозящее электрическое поле, выделяющее баллистические электроны. После прохождения через плоский сеточный электрод баллистические фотоэлектроны попадают на катодолюминофорный экран. Положение светящихся точек на экране регистрируется с помощью ПЗС-телекамеры. По положению и форме пятна рассчитывается угол вылета электрона. Для повышения точности регистрации траекторий баллистических электронов используется устройство управления поляризацией.

В докладе приведены физическая картина изучаемых явлений, описание созданной экспериментальной установки и результаты предварительных экспериментов.

1. Оптическая ориентация под ред. Б. П. Захарчени, Ф. Майера
Ленинград «Наука» 1989 г.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Терехов.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Fe},\text{Cu}$

М. Ю. Аверкина, Н. С. Басько, Е. С. Гриднева, А. С. Акрестина
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

Фоторефрактивные кристаллы титаната висмута, легированные Fe и Cu, характеризуются высокой эффективностью встречного двухволнового взаимодействия на длине волны 633 нм [1] и перспективны для использования в различных приложениях динамической голографии. Известно [2], что предварительная экспозиция кристаллов титаната висмута видимым излучением увеличивает их фоторефрактивную чувствительность в ближней ИК области.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования спектральных зависимостей оптического поглощения и его фотоиндуцированных изменений в легированном железом и медью кристалле титаната висмута ($\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Fe},\text{Cu}$). Измерения поглощения проводились в образце толщиной 1.5 мм, в спектральном диапазоне 475 – 1100 нм. Получено, что коэффициент поглощения необлученного кристалла составляет 0.23, 0.54 и 6.2 см^{-1} на длине волны 780, 633 и 532 нм, соответственно.

Засветка кристалла излучением полупроводникового светодиода с центральной длиной волны $\lambda_0 = 505$ нм и интенсивностью 30 мВт/см² в течение 1 часа приводила к увеличению оптического поглощения, достигающего более 1 см^{-1} для спектральной области $\lambda < 570$ нм. На длине волны 780 нм поглощение увеличилось незначительно, на 0.11 см^{-1} . В процессе темновой релаксации, которая происходила в течение более 100 часов, происходит уменьшение дополнительного поглощения в исследованном диапазоне длин волн. Для описания спектральной зависимости оптического поглощения, имеющего примесный характер, и его фотоиндуцированных изменений использовалась предложенная в [2] модель поглощения на глубоких донорных центрах, энергия ионизации которых подчиняется нормальному закону распределения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и БРФФИ (грант № 06-02-81040_Бел_а) и программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 годы).

1. Плесовских А.М., Шандаров С.М., Мартыанов А.Г. и др. // Квант. электроника. 2005. Т. 35. С. 163.

2. Толстик А.Л., Матусевич А.Ю., Кистенева М.Г. и др. // Квант. электроника. 2007. Т. 37. С. 1027.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук М. Г. Кистенева.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЙ РОСТА SiO_2 ПРИ ОКИСЛЕНИИ $\text{Si}(111)$ В СУХОМ КИСЛОРОДЕ

А. Н. Карпов

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

Разработана Монте-Карло модель SiO_2 слоя на основе частично заполненной алмазоподобной сетки. В модельном слое в результате случайных блужданий атомов из хаотического распределения атомов кремния и кислорода в узлах сетки автоматически организуется правильный ближний порядок и отсутствует дальний порядок, как и в аморфном SiO_2 . В идеальном SiO_2 атом кремния имеет четыре соседних атома кислорода, а атом кислорода — два соседних атома кремния.

Определена схема реакций взаимодействия кремния с кислородом, включая реакцию образования и распада монооксида кремния. С помощью этой схемы реакций моделировался рост окисла на поверхности $\text{Si}(111)$ при различных температурах и давлениях кислорода. Молекулярный кислород подавался на чистую $\text{Si}(111)$ поверхность, в результате чего на этой поверхности рос слой окисла с правильной координацией атомов в окисле. Найдены параметры реакций, при которых кинетика роста слоя при различных давлениях и температурах соответствовала экспериментальным зависимостям [1]. В модельной системе присутствовали частицы молекулярного кислорода, атомарного кислорода, кремния и монооксида кремния. Молекулярный кислород и монооксид кремния имели возможность испариться с поверхности или перемещаться как молекулы газа внутри полостей растущего слоя.

Моделирование выполнялось с помощью разработанного авторами пакета Sil-Sim3D с оригинальным быстродействующим алгоритмом планирования событий в реальном масштабе времени. Пакет SilSim3D позволяет исследовать кинетику преобразования многокомпонентных систем с использованием кубической или алмазоподобной сетки.

1. C. Krzeminski, G. Larrieu, J. Penaud, E. Lampin and E. Dubois, Silicon dry oxidation kinetics at low temperature in the nanometric range: Modeling and experiment, Journal of App. Phys. 101, 064908 (2007).

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук З. Ш. Яновицкая.

ПЕРЕХОД ОТ СИЛЬНОЙ К СЛАБОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ТУННЕЛЬНО-СВЯЗАННЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК Ge/Si

Е. С. Коптев

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

Электронные состояния массива туннельно-связанных квантовых точек (КТ) Ge в Si сильно локализованы из-за разброса размеров КТ и их неупорядоченного распределения в плоскости роста. Особенности зонной структуры Ge в Si приводят к тому, что локализация в Ge КТ существует только для дырок и транспорт заряда при низких температурах определяется прыжковой проводимостью дырок по массиву КТ. Было показано, что радиус локализации дырок ξ в такой системе сильно зависит от фактора заполнения КТ дырками и достигает максимального значения при целом числе дырок в КТ. Такая расходимость ξ свидетельствует о том, что система находится вблизи перехода металл-диэлектрик (МД). Из скейлинговой гипотезы следует, что переход МД невозможен в двумерных системах. Однако существует ряд экспериментальных и теоретических работ, в которых рассматривается возможность делокализации электронных состояний под действием электрон-электронного взаимодействия.

Задачей данной работы было найти условия перехода от прыжковой проводимости к режиму слабой локализации в двумерном массиве КТ Ge/Si. Для этого изучалось поведение системы в режиме прыжковой проводимости при различных соотношениях беспорядка и силы кулоновского взаимодействия. Были рассмотрены 3 возможности увеличения данного соотношения. Во-первых, для увеличения интеграла перекрытия волновых функций дырок, была повышена плотность массива КТ более чем в 2 раза за счет снижения температуры роста от 300 до 250°C. Во-вторых, степень перекрытия волновых функций дырок изменялась путем изменения размера и состава Ge островков при отжиге системы в диапазоне 500-600°C. И наконец, уровень флуктуаций беспорядка контролировался вариацией числа дырок в КТ путем изменения концентрации в дельта-легированном слое кремния, расположенным на 5 нм ниже слоя КТ. Максимальное значение радиуса локализации было получено при факторе заполнения КТ дырками, соответствующем полному заполнению основного состояния КТ. Результаты измерений анализировались в рамках теории прыжковой проводимости и теории квантовых поправок к проводимости.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Н. П. Степина.

СПИНОВОЕ ЭХО ЭЛЕКТРОНОВ, ЛОКАЛИЗОВАННЫХ НА Ge/Si КВАНТОВЫХ ТОЧКАХ

А. С. Любин

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

В свете последних работ [1], посвящённых реализациям схем квантовых вычислений на основе полупроводниковых гетероструктур, использующих спиновую степень свободы, актуальным является изучение спиновых явлений в системах с квантовыми точками (КТ). С понижением размерности время спиновой релаксации увеличивается. В Ge/Si КТ ожидается наиболее длительное время спиновой релаксации благодаря малости спин-орбитального взаимодействия в этих материалах. Локализация электронов в данной системе происходит благодаря напряжениям в Si вблизи вершин Ge КТ. Спин локализованного электрона в Si является наиболее привлекательным с точки зрения квантовых логических операций. Для создания прибора, использующего спиновую степень свободы, необходимо знать времена спиновой релаксации и дефазировки спинов. Прямое измерение этих величин позволяет произвести метод спинового эха.

Методика спинового эха состоит в переводе спинов носителей в неравновесное состояние с помощью СВЧ-импульсов заданной длительности и наблюдении за изменением намагниченности образца. Рассматривая релаксацию неравновесной намагниченности и регистрируя её уменьшение со временем, можно судить о скорости затухания спиновой поляризации и получить характерное время релаксации.

В нашей работе были рассмотрены спины электронов в структуре с четырьмя слоями Ge КТ. Методом ЭПР была доказана локализация носителей в этой структуре, а также получен g-фактор локализованных электронов.

Исследования проводились в режиме двух- и трёхимпульсного эха, при температурах 4.2 К – 6 К. В результате измерений были получены времена спин-решёточной $T_1 \sim 8$ мкс и спин-спиновой релаксации $T_2 \sim 0.9$ мкс и 20 мкс, что соответствует оценке, произведённой на основе измерений насыщения ЭПР-сигнала, давшей $T_1 T_2 \sim 10^{-11}$ с². Существование двух величин для T_2 объясняется наличием двух групп носителей с разным временем дефазировки.

1. I. Zutic, J. Fabian, S. Das Sarma, Rev. Mod. Phys. 76, 323, 2004.

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

КВАЗИЭФФЕКТ ХОЛЛА В ГРАФЕНЕ

Э. В. Марчук, Д. В. Завьялов

Волгоградский государственный педагогический университет

Недавно полученный экспериментально графен обладает рядом привлекательных свойств, позволяющих использовать его в самых различных приложениях нанoeлектроники. Однако основной упор исследований сделан на изучение проводимости графена в постоянном и переменном полях в линейном приближении по приложенным полям. При таком рассмотрении упускаются из виду возможные эффекты, связанные с неаддитивностью энергетического спектра графена и выходящие за рамки линеаризованного уравнения Больцмана.

В настоящей работе с использованием квазиклассического подхода предсказан эффект возникновения постоянной (перпендикулярной тянущему постоянному электрическому полю) составляющей тока в ситуации когда на образец графена нормально к его поверхности падает эллиптически поляризованная электромагнитная волна (ЭМ). Составляющие напряженности электрического поля эллиптически поляризованной ЭМ описываются уравнениями: $E_1 = E_{10} \cos(\omega t)$,

$E_2 = E_{20} \cos(\omega t + \delta)$, где ω - частота ЭМ волны, δ - разность фаз, E_c - напряженность постоянного поля в графене вдоль оси y . Энергетический спектр носителей тока имеет вид $\varepsilon(\mathbf{p}) = v_f |\mathbf{p}|$, где $v_f \approx 10^8 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ - скорость на

поверхности Ферми. Исходя из определения плотности тока: $j_y = e \sum_{\mathbf{p}} v_y(\mathbf{p}) f(\mathbf{p}, t)$ (неравновесная функция распределения $f(\mathbf{p}, t)$

является решением кинетического уравнения Больцмана), нами получено выражение для поперечной плотности тока:

$$j_y = j_0 \left\langle \int_{-\infty}^0 d\tau' \exp(\gamma \tau') \int_0^{2\pi} d\varphi \sin(\varphi) \int_0^{\infty} d\theta \cdot \left(\exp \left(\sqrt{(\theta \cos(\varphi) + g1)^2 + (\theta \sin(\varphi) + g2)^2} \right) + 1 \right)^{-1} \theta - \right\rangle$$

Здесь $\gamma = \nu / \omega$, $\alpha_{c,i} = v_f e E_{c,i0} / (T\omega)$, $j_0 = 6en\gamma v_f / \pi^3$, $i = 1, 2$,
 $g1 = \alpha_c \tau' + \alpha_1 (\sin(\tau' + \tau) - \sin(\tau))$, $g2 = \alpha_2 (\sin(\tau' + \tau + \delta) - \sin(\tau + \delta))$.

Численный анализ формулы на ЭВМ при $\alpha_c = \alpha_1 = \alpha_2 = 0.1$, $\gamma = 0.5, 0.7, 1$ позволяет аппроксимировать полученное выражение к виду $j_y = -0.58(1 + 3\gamma^2)(\gamma + \gamma^3)^{-2} \alpha_c \alpha_1 \alpha_2 \cos(\delta)$. Отметим, что в случае круговой поляризации ($\delta = \pi/2$) эффект исчезает ($j_y = 0$).

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

ОБРАЗОВАНИЕ ВАКАНСИОННО-КИСЛОРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ОБЛУЧЁННОМ БЗП-КРЕМНИИ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКАХ

Б. И. Михайлов

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный технический университет

Развитие кремниевой технологии привело к появлению кремния, полученного методом бестигельной зонной плавки (БЗП-кремний). Основные достоинства этого материала, в том, что в нём содержится меньше кислорода и других примесей по сравнению с Чохральским кремнием. При электронном облучении образуется ряд точечных радиационных дефектов (РД), таких как Е-центры, А-центры, дивакансии, вакансионно-кислородные (ВК) комплексы, которые имеют в запрещенной зоне полупроводника глубокие уровни.

В данной работе проводилось исследование образования ВК комплексов в облучённом БЗП-кремнии с исходным удельным сопротивлением 120 Ом·см при термических отжигах в диапазоне температур 2000 ÷ 3500 С. Изменение концентрации РД комплексов оценивалось по измерению температурной зависимости удельного сопротивления. Данные измерений сопоставлялись с численным моделированием, в результате чего находили концентрацию ВК комплексов. Численное моделирование описывает температурную зависимость удельного сопротивления с учётом температурной зависимости подвижности и концентрации носителей заряда. Измерения температурной зависимости удельного сопротивления позволяют описать дефектный состав БЗП – кремния, при этом необходимо было знать тип точечного дефекта и его энергетический уровень.

Результаты показывают, что в БЗП-кремнии дивакансии имеют температурную стабильность выше, чем в Чохральском кремнии. Дивакансии (V2) отжигаются при температуре около 2500 С в Чохральском кремнии, но в БЗП-кремнии эти дефекты сохраняются до температуры 3000 С. При этой температуре идет рост концентрации комплексов дивакансия - кислород (V2O), которые имеют более глубокий уровень в запрещенной зоне по сравнению с V2. Однако, остается не ясным механизм образования V2O комплексов при температурах отжига от 3000 С до 3200 С, когда наблюдается максимальное увеличение концентрации этих комплексов. Возможно, это увеличение происходит с участием А-центров.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Г. Н. Камаев.

ПОДВЕШЕННЫЕ ТОНКИЕ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ УЗКОЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ InAs/InGaAs

С. В. Мутилин

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

Недавно был впервые предложен и реализован метод изготовления полупроводниковых нанооболочек сложной трёхмерной формы [1]. Были сделаны первые шаги в области прецизионного наноструктурирования, позволяющего достичь молекулярной точности в конструировании трёхмерных объектов. В основе метода формирования нанообъектов лежит процесс изгиба и сворачивания освобождённых от связей с подложкой напряженных полупроводниковых гетеропленок. Свёрнутые гетероструктуры с двумерным электронным газом (ДЭГ) имеют перспективы для изучения новых физических эффектов. Влияние однородного внешнего магнитного поля на электроны в таких газах пространственно неоднородно, так как только нормальная составляющая (относительно поверхности) компонента магнитного поля служит явлению двумерного электронного транспорта из-за воздействия силы Лоренца.

Использование узкозонных полупроводников для получения ДЭГ в оболочках обусловлено, во-первых, сравнительно малой эффективной массой электронов в потенциальной яме InAs, а во-вторых, обогащением на поверхности InAs [2]. Это дает высокую подвижность электронов и, одновременно, малую толщину плёнки, размером всего 27 нм, что отражается в малом радиусе трубки (диаметр меньше 1 микрона). Первым этапом получения и исследования оболочек является создание свободной плёнки, и её последующие транспортные измерения. Предложено использовать подвешенные мостики со свободной от подложки областью плёнки. Полученные размеры подвешенных областей составляют от 4 мкм до нескольких десятков микрон. Для создания мостиков из гетероструктур использована оптическая литография для мезаструктуры с нанесенным сверху защитным слоем. Для латерального химического травления жертвенного слоя подобраны оптимальные травители.

1. Prinz V. Ya., Seleznev V. A., Gutakovskiy A. K., Chehovskiy A. V., Preobrazenskii V. V., Putyato M. A. and Gavrilova T. A., *Physica E*, 6, N 1-4, 828-831, (2000).

2. L. O. Olsson, C.B.M. Andersson, M.C. Hakansson, J. Kanski, L. Iiver, U.O. Karlsson, *Phys. Rev. Lett.* 76, 3626, (1996).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. Б. Воробьев.

РАЗРАБОТКА БОЛОМЕТРИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

О. Т. Мухутдинов

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

За последние несколько лет значительно возрос интерес к детектированию излучения в терагерцовом диапазоне (0.1-10 ТГц). В значительной степени это обусловлено тремя факторами:

1. Терагерцовое излучение прозрачно для неметаллических, неполярных материалов и в отличие от миллиметрового диапазона длин волн позволяет обеспечить значительно более высокое пространственное разрешение (в 10-100 раз).

2. Многие материалы имеют богатый характерный спектр пропускания и отражения в указанном диапазоне, что позволяет идентифицировать их с высокой степенью достоверности.

3. Терагерцовое излучение малой мощности не представляет угрозу для здоровья живых организмов, что позволяет проводить их сканирование без нанесения повреждений.

В системах некогерентной регистрации ТГц сигнала успешно применяются болометрические приемники. Под действием излучения происходит нагрев термочувствительного элемента болометра и изменение его электрического сопротивления.

Для достижения высоких характеристик приемника необходимо согласовывать активное сопротивление нагрузки антенны с ее импедансом. Термочувствительные элементы болометров из низкоомных материалов, таких как Nb, сами могут быть использованы в качестве нагрузки антенны. При использовании высокоомных слоев оксидов ванадия требуется иное конструктивное решение.

Разрабатываемый приемник представляет собой матрицу чувствительных элементов, выполненных в интегральном исполнении. Это накладывает дополнительные ограничения на тип и геометрические размеры антенны. В данной работе рассматривается конструкция терагерцового приемника с логопериодической спиральной антенной и с дополнительным металлическим резистором в качестве нагрузки для антенны, термически «закороченным», но электрически изолированным от термочувствительного элемента болометра. Проводятся расчет характеристик антенны и оптимизация параметров приемника ТГц излучения с помощью методов компьютерного моделирования.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук Д. Г. Есаев, канд. техн. наук доцент В. С. Черкасский.

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ВАКАНСИЙ И ПОЛИВАКАНСИЙ В НИТРИДЕ КРЕМНИЯ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

С. С. Некрашевич

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время широкое распространение получили устройства энергонезависимой flash-памяти на основе нитрида кремния Si_3N_4 . В основе принципа действия таких приборов лежит так называемый эффект памяти Si_3N_4 – его способность локализовывать заряд на ловушках в течение длительного времени.

Одной из ключевых проблем эксплуатации flash-памяти на основе нитрида кремния является её неспособность к длительному хранению информации после 10^5 - 10^6 циклов записи/стирания. Возможная причина деградации flash-памяти связана с уменьшением энергии ловушек в заполоненной среде.

Считается, что ловушки в нитриде кремния образованы Si-Si связью. Так как синтез Si_3N_4 осуществляется, как правило, из водородсодержащих компонентов, в структуре всегда присутствует некоторое количество Si-H и Si-N связей. Известно, что при отжиге нитрида кремния в водороде, время хранения заряда существенно увеличивается. В то же время отжиг нитрида кремния в вакууме приводит к значительному уменьшению времени хранения. Этот факт позволяет предположить, что снижение энергии ловушек обусловлено либо переходом водорода в новое метастабильное состояние, либо разрывом Si-H связи.

Для проверки этой гипотезы проводится моделирование температурной динамики ячейки нитрида кремния с вакансиями азота и встроенными атомами водорода с последующим исследованием электронной структуры дефекта.

Моделирование процесса формирования дефектов проводится при помощи метода молекулярной динамики Кар-Паринелло, достоинством которого является использование первых принципов квантовой механики, что позволяет рассматривать различные конфигурации дефектов без привлечения экспериментальных данных и проведения дополнительных расчетов. Расчеты в используемом в работе программном пакете CPMD проводятся в рамках теории функционала плотности (Density Functional Theory - DFT).

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

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ НА ПРОБОЙ ПРОМЕЖУТКА КАТОД - ВНЕШНИЙ ЭЛЕКТРОД ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ

Н. В. Неськина, В. В. Журов

Мордовский государственный педагогический институт
имени М.Е. Евсевьева

Сфера применения разрядных источников света различного назначения неуклонно расширяется. В [1] рассмотрен релаксатор световых импульсов на люминесцентной лампе. Улучшение характеристик релаксатора требует изучения влияния различных факторов на пробой промежутка катод – внешний электрод лампы.

Приводится схема установки для изучения влияния частоты сети на напряжение пробоя. Напряжение к электродам прикладывается от низкочастотного генератора ГЗ-109 через повышающий трансформатор. Установлено, что при изменении частоты от 50 Гц до 200 Гц для лампы ЛБ-20 напряжение пробоя разряда практически остается постоянным, а увеличение ширины внешнего электрода с 2.5 мм до 10 мм приводит к снижению напряжения пробоя разряда на 11%.

Снижение напряжения пробоя обусловлено уменьшением сопротивления емкости внешний электрод – внутренняя стенка колбы лампы, заряжаемая электронами.

Приводится зависимость напряжения пробоя промежутка катод – внешний электрод от коэффициента ионно–электронной эмиссии, размеров геометрии электродов и других факторов. Расхождение между расчетными и экспериментальными данными не превышает 8%.

1. В. К. Свешников. Релаксатор световых импульсов на люминесцентной лампе // Прикладная физика, 2003г., №4, с.105 – 107

Научный руководитель – чл.-корр. АЭН РФ, д-р техн. наук, проф. В.К.Свешников.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПОДРЕШЕТОК В КРИСТАЛЛАХ СО СТРУКТУРОЙ МАРКАЗИТА

Е. В. Николаева

Кемеровский государственный университет

Любое сложное кристаллическое соединение можно построить из трансляционно-совместимых подрешеток Бравэ одинаковых или различных сингоний.

Представление кристаллов в виде совокупности подрешеток различного типа Бравэ позволяет описать имеющуюся в них дополнительную, «скрытую» симметрию и предсказать вызванные ею особенности некоторых физических и физико-химических свойств кристаллов [1].

Ранее была решена задача определения возможных вариантов сочетания подрешеток Бравэ в кристаллах, учитывая их трансляционную совместимость [2]. Учет пространственной симметрии кристалла позволяет определить возможные варианты пространственного размещения подрешеток Бравэ разного типа в избранной пространственной группе (ПГ). На кафедре теоретической физики КемГУ ведется работа по составлению кристаллографического справочника для всех ПГ. Уже получены результаты для ПГ триклинной и моноклинной сингоний, а также для кристаллов простого ромбического типа Бравэ.

В базе данных Crystal Lattice Structures среди кристаллических соединений простого ромбического типа были найдены кристаллы с различающимся типом подрешеток Бравэ: FeS_2 , AlPS_4 , $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, CaTiO_3 . Данная работа посвящена многочисленной группе кристаллов со структурой марказита. В кристалле FeS_2 подрешетки Fe можно объединить в одну объемцентрированную ромбическую подрешетку, а подрешетки S совпадают по своему типу Бравэ с кристаллическими, при этом пространственные периоды подрешетки и кристалла совпадают. В нашей работе выполнен теоретический расчет возможных векторов смещения подрешеток относительно друг друга, получены соответствующие кристаллографические позиции. Результаты расчета полностью совпадают с реально имеющимися в кристалле базисными векторами.

1. Ю. М. Басалаев, Ю. Н. Журавлев, А. В. Кособуцкий, А. С. Поплавной. ФТТ. Т. 46, № 5, 826 (2004).

2. А. С. Поплавной, А. В. Силинин. Кристаллография. Т. 50, № 5, 782 (2005).

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

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ В НАДПЕРОКСИДАХ НАТРИЯ И КАЛИЯ.

О. С. Оболонская

Кемеровский государственный университет

Надпероксиды натрия и калия имеют ионное строение $(M^+)(O_2^{-2})$, являются сильными окислителями по отношению к водороду, углероду, органическим веществам, применяются в качестве средства регенерации кислорода воздуха и источника кислорода, основанного на реакциях с увлажненным углекислым газом.

Надпероксид натрия NaO_2 относится к ромбической сингонии группа D_{2h}^{12} , элементарная ячейка содержит две формульных единицы. В решетке натрия каждый катион окружен шестью атомами кислорода. Надпероксид калия KO_2 относится к тетрагональной сингонии, группа D_{2h}^{17} , элементарная ячейка содержит четыре формульных единицы. В решетке KO_2 каждый катион окружен десятью атомами кислорода, каждый атом кислорода – четырьмя атомами калия.

Ввиду того, что эксплуатационные и каталитические свойства материалов определяются состоянием их поверхности, возникает задача исследования электронных свойств надпероксидов. В настоящей работе методами зонной теории проведено исследование энергетического и пространственного распределения электронов в кристаллической матрице, установлены особенности образования химической связи и на этой основе прогнозируются их физико-химические свойства.

Зонная структура MO_2 представляет собой чередование узких разрешенных и широких запрещенных зон. Распределение электронной плотности в NaO_2 и KO_2 характеризуется её локализацией на атомах кислорода. За счет перекрытия волновых функций эти атомы образуют молекулярный ион O_2^- , о чем свидетельствует наличие общих контурных линий. Для определения механизмов образования химической связи проведено вычисление разностной плотности, которая определяется как разность между валентной кристаллической плотностью и валентных плотностей всех подрешеток, составляющих кристалл. Установлено, что заряд вытекает из внутриатомных областей, а натекает в межатомные области с образованием максимума на линии связи O – O.

Таким образом, методами компьютерного моделирования установлено, что химическая связь между металлом и кислородом имеет ионный характер и обнаружено взаимодействие молекулярных ионов между собой.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ю. Н. Журавлёв.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ЛЕГИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛА ПОЛУПРОВОДНИКА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ПРИМЕСЯМИ.

Аслидин Очилов

Самаркандский государственный университет

В результате проведенных исследований установлены экспериментальные зависимости напряжения холостого хода, тока короткого замыкания, КПД и стабильности кремниевых солнечных элементов от концентрации атомов серы, кобальта, никеля, цинка, кадмия и условий диффузии после дополнительного легирования данными примесями как базовой, так и фронтальной областей фотоэлементов. Основное влияние дополнительного легирования приводит к увеличению тока короткого замыкания, при незначительном увеличении напряжения холостого хода и к существенному повышению стабильности исследуемых элементов, что зависит от природы и концентрации вводимых примесей.

Полученные фотоэлементы имеют высокую стабильность при работе в реальных условиях термоциклирования и повышенной интенсивности излучения, приводящих к образованию радиационных дефектов. Так наличие никеля и серы в базе кремниевых солнечных элементов практически полностью подавляет генерацию как закалочных, так и других термодинамических дефектов. Заметна их радиационная стойкость, термическая обработка (ТО) до 50 часов в области 100-500°C не приводит к существенному изменению электрофизических и фотоэлектрических свойств базы (удельное сопротивление, подвижность, время жизни неосновных носителей тока) фотоэлементов, дополнительно легированных Ni, Co, Cd, Zn и S при существенном изменении исходных параметров контрольных образцов. Перспективно использование таких элементов при концентрированном солнечном излучении вследствие повышенной стабильности и наличия у них суперлинейной люкс-амперной характеристики. Одним из основных параметров полупроводниковых материалов, определяющих эффективность солнечных элементов, является время жизни неосновных носителей тока. Оно зависит, в основном, от распределения БДП в объеме кристалла и их активации в процессе изготовления солнечных элементов. Как известно, при изготовлении солнечных элементов с использованием ТО время жизни неосновных носителей тока существенно падает, что ухудшает параметры готовых элементов. Поэтому представляет большой практический интерес использование полученных новых экспериментальных результатов в процессе изготовления солнечных элементов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Т. У. Тошбоев.

ВОЛЬТ–АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОПРИЕМНЫХ СТРУКТУР С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ НА ОСНОВЕ МЛЭ GaAs/AlGaAs.

А. В. Павлов

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

Многослойные структуры с квантовыми ямами GaAs/AlGaAs вследствие высокой однородности состава и низкой себестоимости изготовления фотоприемников, делают перспективным создание полноформатных матричных фотоприемных устройств ИК-диапазона спектра.

Целью данной работы является изучение процессов переноса носителей заряда в таких структурах, выращенных методом МЛЭ в ИФП СО РАН для фотоприемников, чувствительных в спектральной области 8÷12 мкм.

Для исследования были изготовлены два образца (№1 и №2) с одинаковым уровнем легирования кремнием в ямах, шириной квантовых ям и барьеров и содержанием алюминия в барьерах. Различие структур заключалось в отсутствии в одной из них так называемого «стоп-слоя» из AlAs, выращиваемого для остановки травления подложки. Результаты исследования этих структур сравнивались с контрольным образцом (№3), выращенным методом МОСГФЭ и имеющим такие же размеры ям и барьеров и уровня легирования в ямах.

Для всех образцов были измерены температурные зависимости вольтамперных характеристик (ВАХ) темнового тока в диапазоне 77÷200 К. Анализ данных зависимостей показал различие в поведении ВАХ образцов №1 и №2, от ВАХ образца №3. Для образца №3 ВАХ хорошо описывается теоретической зависимостью, а для образцов №1 и №2 полное соответствие между теорией и экспериментом не достигается. Разница в энергиях активации (разница между высотой барьера и уровнем Ферми) и в полевых зависимостях энергии активации образцов №1 и №2 от образца №3 позволяет предположить существование остаточного энергетического барьера между верхним связанным состоянием в яме и краем зоны проводимости AlGaAs, величина которого может отличаться от закладываемого во время роста.

Таким образом, в работе показано, что неоптимальное положение верхнего связанного уровня в яме приводит к увеличению значений энергии активации, что, в свою очередь, понижает как наклон темновых ВАХ, так и фоточувствительность структур МЛЭ GaAs/AlGaAs.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук В. Н. Овсяк, Д. Ю. Протасов.

ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДЛИНЫ СВОБОДНОГО ПРОБЕГА БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ В p^+ -GaAs(Cs,O)

С. А. Рожков

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время полупроводниковые эмиттеры с отрицательным электронным сродством широко применяются в высокочувствительных фотоприемниках, источниках спин-поляризованных и моноэнергетических электронов. Для оптимизации характеристик фотоэмиттеров требуются дополнительные данные о процессах рассеяния электронов по импульсу и энергии. Эти данные содержатся в энергетических распределениях эмитированных фотоэлектронов. Исследуя их, можно получить информацию о процессах рассеяния электронов в активном слое фотокатода.

Для измерения длины свободного пробега баллистических фотоэлектронов в p^+ -GaAs(Cs,O) используются специальные фотокатоды с переменной толщиной активного слоя, изменяющейся с шагом до 50 нм. Измеряя энергетические распределения фотоэлектронов на фотокатодах с разной толщиной активного слоя, и сравнивая полученные результаты с теорией можно получить сведения о вероятности рассеяния электронов по импульсу и энергии в объеме полупроводника. Дополнительные данные можно получить путем измерения энергетических распределений эмитированных фотоэлектронов на фотокатод с заданной толщиной активного слоя при его освещении как с эмитирующей, так и с противоположной поверхности. Энергетические распределения фотоэлектронов измеряются методом задерживающего потенциала. Для получения энергетической и температурной зависимости длины свободного пробега баллистических фотоэлектронов необходимо проводить измерения при различных энергиях возбуждающих фотонов и температурах.

Измерения проведены при температурах 77 К и 293 К и энергиях возбуждающий фотонов в интервале 1.45 – 3.1 эВ. Обработка полученных данных в рамках простой модели позволила оценить энергетическую зависимость длины свободного пробега фотоэлектронов.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Терехов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ И РЕЛАКСАЦИИ В ПРЫЖКОВОЙ ПРОВОДИМОСТИ ВДОЛЬ ДВУМЕРНОГО МАССИВА КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

С. В. Рябцев

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

Объектом изучения данной работы является проводимость вдоль двумерного массива квантовых точек Ge/Si при низкой температуре $< 30\text{K}$. Экспериментально в этой системе наблюдалась как положительная, так и отрицательная фотопроводимость в зависимости от того, сколько носителей заряда приходится одну квантовую точку [1]. Существуют два предположения, почему может измениться проводимость: 1) изменение концентрации носителей заряда в образце; 2) перераспределение носителей заряда по квантовым точкам. Данная работа исследует второй процесс с помощью компьютерного моделирования.

В соответствии с нашими расчётами, темновая проводимость $G(T)$ описывается законом Эфроса-Шкловского $G \sim \exp(-T_0/T)^{1/2}$ в температурном диапазоне $2\text{K} < T < 30\text{K}$. Параметр T_0 зависит от геометрического расположения квантовых точек: чем выше разупорядоченность, тем больше T_0 . Причина изменения T_0 связана с изменением кулоновской щели. А именно, плотность состояний $g(E)$ в окрестности уровня Ферми E_f описывается линейным законом $g = \alpha |E - E_f| \varepsilon^2 / e^4$, где безразмерный коэффициент α варьируется от 0.63 (при расположении точек в узлах квадратной решетки) до 0.37 (при случайном расположении точек).

При моделировании возбуждения массива квантовых точек светом мы использовали два типа элементарных процессов: 1) прыжок электрона из случайно выбранной занятой точки на случайно пустую точку; 2) энергетически выгодные прыжки электронов. Процесс первого типа описывает фотовозбуждение электрон-дырочной пары в массиве квантовых точек. Процесс второго типа соответствует релаксации массива. В результате моделирования было показано, что проводимость увеличивается при включении света. Это объясняется тем, что кулоновская щель разрушается в случае большой интенсивности света. После выключения света проводимость медленно релаксирует.

1. Н. П. Стёпина и др., ЖЭТФ 130, 309 (2006).

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФУЗИИ НАТРИЯ В ПОЛИКРИСТАЛЛАХ Al_2O_3 И BaO

А. Н. Камодин, М. В. Карташова, С. А. Сафроненков
Мордовский государственный педагогический институт
Мордовский государственный университет

Изучить на атомном уровне физические процессы, протекающие на катодах и в оболочках разрядных трубок в процессе работы натриевых ламп, позволяют методы математического моделирования. Вычислительные эксперименты позволяют неограниченно расширить интервалы различных параметров, разделить влияние различных физических факторов и получить набор технологических следствий из представлений, лежащих в основе физической модели процесса.

Методом Монте-Карло осуществлено моделирование процесса диффузии атомов натрия в кристаллах Al_2O_3 и BaO . Сравнение результатов моделирования с результатами экспериментов подтверждает вакансионный механизм процесса диффузии. В работе [1] описано моделирование решеточным вариантом метода Монте-Карло процессов адсорбции-десорбции атомов натрия на поверхности бариевого катода натриевой лампы. Моделирование показало, что монослой натрия на поверхности катода образуется при низких температурах и различных пересыщениях. Образование же более толстых пленок, переход от островковых и сетчатых структур к сплошной пленке возможен при сравнительно высоких пересыщениях. Моделирование диффузии натрия в Al_2O_3 показало, что при температуре свыше 1100 К происходит ионизация атомов натрия, возникает ионный ток утечки натрия из разрядной трубки натриевой лампы. Ток утечки при наличии ускоряющего поля больше, чем в его отсутствии. Показано, что диффузия натрия в разрядной трубке при высоких температурах главным образом идет по границам зерен. Результаты, полученные при компьютерном моделировании, согласуются с результатами натурального эксперимента [2].

1. В. К. Свешников, В. Н. Молин, М. В. Карташова. Исследование влияния натрия на физические свойства оксидного катода // Радиотехника и электроника. - 2008, том 53, №4, с.1-5.

2. В. К. Свешников. Десорбция натрия с разрядных трубок натриевых ламп // Электронная техника. Сер. Электроракуумные и газоразрядные приборы, 1985г., вып.2, с.6-9.

Научные руководители – д-р техн. наук, проф. В. К. Свешников, д-р техн. наук, проф. В. С. Мордюк.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИТРИДА МОЛИБДЕНА

Е. С. Сенченко

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный технический университет

Нитрид молибдена впервые был синтезирован в 1935 году. В настоящее время синтезированы различные модификации этого материала. Особый интерес вызывает высокотемпературная кубическая модификация нитрида молибдена. Твёрдость, тугоплавкость и хорошая химическая стойкость, обуславливают перспективность его применения в различных областях науки и техники. Плёнки нитридов молибдена являются эффективными в качестве покрытий для защиты поверхности от износа и коррозии.

Плёнки нитрида молибдена были исследованы на нескольких подложках. Предварительно все подложки были специально обработаны и очищены. Плёнки наносились методом реактивного магнетронного напыления в режиме постоянного тока [1]. Первоначальные исследования плёнки, нанесенной на кремниевую подложку, показали, что её свойства не соответствуют ожидаемым и противоречат описанным в литературе данным. Оптические характеристики плёнки были исследованы с помощью лазерного фотоэлектрического эллипсометра на двух длинах волн $\lambda=632.8$ нм и $\lambda=488$ нм. В этом диапазоне длин волн наблюдалась аномальная дисперсия. Кроме того, не была обнаружена оптическая анизотропия, присущая низкотемпературной модификации MoN.

Исследование на электронном микроскопе показало, что структура данного вещества поликристаллическая с кубической модификацией.

Для уточнения полученных данных и оценки состава плёнки, она была нанесена на различные подложки: сапфир, кремний и плавный кварц. Затем все измерения были повторены. Электронный микроскоп показал, что структура всех плёнок одинакова в пределах погрешности. При этом результаты измерений на эллипсометре показали, что (псевдо) показатели преломления и поглощения плёнок на разных подложках отличаются. На подложках кремния и кварца они совпадают в пределах погрешности, на сапфире же имеют существенно иное значение. На основе полученных данных было установлено, что на границе плёнки и подложки из кристаллического кварца и кремния происходит реакция, которая искажает истинные значения показателя преломления и поглощения.

1. В. В. Атучин, В. А. Кочубей, Л. Д. Покровский, Т. Х. Хасанов, *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*, т.3, №1, 22 (2006).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Т. Х. Хасанов.

ОБРАЗОВАНИЕ АКЦЕПТОРНЫХ ЦЕНТРОВ В ПЛЕНКАХ $Cd_xHg_{1-x}Te$ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Г. Ю. Сидоров

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время перспективными для использования в инфракрасном (ИК) диапазоне, являются фотоприемники (ФП) на основе эпитаксиальных пленок $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ), выращенных МЛЭ. Использование КРТ позволяет достигать высокой чувствительности приборов, а в зависимости от состава x может быть получен материал с шириной запрещенной зоны в интервале 0-1.6 эВ. Важной проблемой, стоящей перед приборами на основе КРТ, является нестабильность их параметров при длительном хранении. Предположительно, деградация ФП вызвана неконтролируемым введением акцепторных центров.

В работе было проведено исследование влияния электрохимических воздействий на образование акцепторных центров в пленках КРТ МЛЭ. Нелегированные пленки с $x \approx 0.22$, толщиной около 10 мкм выращивались методом МЛЭ на подложках GaAs(301). Пленки, подвергавшиеся воздействию технологических и окислительно-восстановительных сред, проходили затем ускоренные испытания на стабильность, включающие прогрев в течение 72 часов при 115°C в инертной атмосфере, что соответствует нескольким годам хранения при комнатной температуре.

Установлено, что параметры пленок КРТ, не подвергавшихся технологическим воздействиям, не изменяются при испытаниях на стабильность. Параметры пленок, подвергавшихся воздействию технологических сред, существенно ухудшились после испытаний на стабильность. Это означает, что нестабильность приборов на основе КРТ обусловлена изменениями, происходящими в материале при обработках в процессе производства ФП. Для выяснения причин происходящих при обработках изменений, образцы подвергались воздействию окислительно-восстановительных сред. После испытаний на стабильность данных образцов также было обнаружено сильное изменение их параметров. Анализ происходящих при таких обработках процессов позволил установить, что на поверхности пленок формируется источник акцепторов, из которого в дальнейшем происходит диффузия в объем пленки, приводящая к неконтролируемому ухудшению параметров. Было проведено исследование процесса диффузии акцепторов, из которого следует, что наиболее вероятно данными акцепторами являются вакансии ругти. Также были исследованы спектры ВИМС для обработанных пленок.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, В. С. Варавин.

АТОМНЫЕ СТУПЕНИ НА ПОВЕРХНОСТИ Si(111) В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО КВАЗИРАВНОВЕСИЯ

С. В. Ситников

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

Целью данной работы являлось изучение поведения monoатомных ступеней на атомарно-чистой поверхности Si(111) в условиях динамического квазиравновесия, когда поток атомов с поверхности исследуемого кристалла компенсируется потоком атомов кремния с близкорасположенного буферного источника. Экспериментальный анализ процессов трансформации морфологии поверхности кремния проводился методом *in situ* сверхвысоковакуумной отражательной электронной микроскопии (СВВ-ОЭМ). Для достижения СВВ-условий (10^{-9} Торр.) используется криогенная камера, разработанная в ИФП СО РАН, охлаждаемая непрерывно протекающим потоком жидкого азота. Метод позволяет получать изображения атомарно-чистых поверхностей кристаллов с разрешением, достаточным для визуализации monoатомных ступеней, высота которых на (111) грани кремния составляет 3.14 Å.

Образцы кремния размерами $10 \times 1,3 \times 0,3$ мм³ помещались в устройство плоского капилляра, позволяющего проводить независимый нагрев обеих подложек, разделенных диэлектрическими пластинами, пропусканием постоянного или переменного электрического тока. При повышенных температурах (>900 С) на электронно-микроскопических изображениях поверхности исследуемого кристалла регистрировался сдвиг системы атомных ступеней в направлении вышележащих террас, обусловленный сублимацией атомов кремния. При увеличении температуры буферного образца кремния наблюдалось уменьшение скорости перемещения атомных ступеней вплоть до полной остановки за счет компенсации потока атомов с поверхности подложки. Отсутствие перемещения атомных ступеней по поверхности кристалла свидетельствовало о достижении условий динамического равновесия. Обнаружено, что при температуре 900 С компенсация сублимационного потока атомов достигалась при одинаковых значениях электрических токов нагревающих буферный и исследуемый образцы. При повышении температуры до 1260 С, условия динамического равновесия, достигались когда величина электрического тока протекающего через буферный образец была меньше чем величины тока, нагревающего изучаемый кристалл. Полученные результаты обсуждаются в рамках теории поверхностной и объемной диффузии собственных точечных дефектов кристалла.

Научный руководитель – С. С. Косолобов.

IN SITU ЛЕГИРОВАНИЕ ТВЕРДОГО РАСТВОРА КАДМИЙ-РУТУТЬ-ТЕЛЛУР, ВЫРАЩИВАЕМОГО МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВОЙ-ЭПИТАКСИИ НА КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ

А. В. Сорочкин

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

Исследование легирования твердых слоев КРТ всегда шло параллельно с изучением собственных дефектов в этом материале. Последние ввиду малой энергии образования в существенной степени определяют электрические, оптические и другие свойства КРТ. Традиционным методом получения КРТ р-типа проводимости является вакансионное легирование – генерация вакансий ртути термообработкой. Установлено, что такой материал имеет следующие недостатки: нестабильности собственных дефектов [1] (генерация вакансий продолжается даже при низких температурах) и образование глубоких уровней, которые, являясь центрами рекомбинации Шокли-Рида, уменьшают время жизни неосновных носителей заряда. Нелегированный КРТ n-типа проводимости еще более нестабилен по сравнению с КРТ р-типа. Очевидным решением этой проблемы является легирование КРТ.

Проведены исследования процессов легирования КРТ индием и мышьяком в процессе роста. Слои КРТ выращивались при температуре 190°C и давлении паров ртути 0.05 Па. Скорость роста составляла 2.5 – 3 мкм в час. Состав КРТ варьировался в диапазоне от $x=0.21$ до $x=0.36$. Легирование индием проводилось испарением элементарного индия из тигельного источника. Легирование мышьяком проводилось из источника с зоной крекинга.

Получены слои КРТ, легированные индием, с концентрацией электронов до $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$, причем концентрация электронов не зависит от состава растущего слоя. Легированные мышьяком слои КРТ так же имеют n-тип проводимости. Для активации мышьяка и, соответственно, конверсии типа проводимости, полученные слои отжигались в атмосфере ртути. После отжига концентрация дырок была в несколько раз выше исходной концентрации электронов и достигала значения $4 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

1. Y. Selamet, A. Ciani, C. H. Grein, S. Sivananthan. Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng, 4795, 8 (2002)

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

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РОСТА НА ТОЛЩИНУ СМАЧИВАЮЩЕГО СЛОЯ ГЕРМАНИЯ, ВЫРАЩИВАЕМОГО НА КРЕМНИИ (100) МЕТОДОМ МЛЭ

В. А. Тимофеев

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

Важным объектом в микро- и оптоэлектронике являются кремний-германиевые гетероструктуры с квантовыми точками. Внедрение массивов самоорганизующихся германиевых квантовых точек в кремниевую матрицу делает возможным улучшение характеристик кремний-германиевых гетероструктур [1]. Необходимым параметром при выращивании таких структур является температура роста, влияющая на толщину смачивающего слоя германия и механизмы роста. Упругие деформации в эпитаксиальных плёнках и трёхмерных островках германия на кремнии являются ключевым фактором, обуславливающим морфологический переход от сплошной плёнки к островковой по механизму Странского-Крастанова и вызваны рассогласованием параметров решётки этих материалов.

Наиболее информативным методом исследования *in situ* в процессе молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) является дифракция быстрых электронов (ДБЭ) [2]. Проведены измерения интенсивности ДБЭ – картины, позволившие установить момент перехода роста от смачивающего слоя к островковому при различных температурах эпитаксии. Путем анализа дифракционных картин были получены толщины смачивающего слоя, при которых происходила смена механизмов роста в диапазоне температур роста 300–700°C. Это позволило построить зависимость толщины смачивающего слоя от температуры роста. Она имеет немонотонный характер с перегибом при температуре около 500°C. Можно предположить, что подобное поведение связано со сменой механизма послойного роста смачивающего слоя германия путем формирования двумерных островков с их последующим срастанием к механизму путем перемещения ступеней. Это подтверждается постепенным исчезновением осцилляций зеркального рефлекса с повышением температуры.

1. A. I. Yakimov, A. V. Dvurechenskii, A. I. Nikiforov, and Yu. Yu. Proskuryakov. *J. of Appl.Phys.* 89, 5676 (2001).

2. О. П. Пчеляков, Ю. Б. Болховитянов, А. В. Двуреченский и др. ФТП (2000), 1281-1299.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. И. Никифоров.

ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ С УЧАСТИЕМ БЫСТРОДИФФУНДИРУЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ В КРЕМНИИ

Акмал Худойкулов

Самаркандский государственный университет им. Алишера Навои

Целью настоящей работы является исследование образования нейтральных химически связанных комплексов серы с другими быстро диффундирующими примесями в кремнии, в частности Fe и Cr, а также определение технологических условий, при которых происходит эффективное комплексообразование.

Исследовали партию образцов Si, легированных серой при 1250°C в течение 100 ч. В качестве исходного материала использовали монокристалл кремния марки КДБ-10 с размерами 10x4x2 мм. После легирования получили перекомпенсированные образцы Si<B,S> с $\rho \approx 1$ Ом·см. Затем образцы Si<B,S> дополнительно легировали Fe и Cr путем диффузионного отжига в интервале 110-1250°C.

Для учёта влияния повторного отжига и сравнения электрических параметров в каждом случае отжигали также контрольные образцы Si<B,S>, Si<B,Fe> и Si<B,Cr>. Из экспериментальных данных видно, что параметры образцов Si<B,S,Fe> и Si<B,S,Cr> независимо от температуры отжига сравнимы с параметрами контрольных образцов Si<B,S>. По мере понижения температуры отжига, удельное сопротивление перекомпенсированных образцов Si<B,S,Fe>, Si<B,S,Cr> и Si<B,S> повышается из-за частичного распада твёрдого раствора в системе Si-S. У образцов Si<B,Fe> и Si<B,Cr> при повышении температуры отжига наблюдается повышение ρ и последующая перекомпенсация при $T > 1200^\circ\text{C}$ на n-тип проводимости. Эти результаты свидетельствуют о преимущественно донорной природе как Fe, так и Cr. Однако концентрации электроактивных атомов Fe и Cr в кремнии значительно ниже концентрации серы. Сравнимость образцов Si<B,S,Fe> и Si<B,S,Cr> с параметрами образцов Si<B,S>, может быть связана либо со слабой эффективностью образования комплексов серы с Cr и Fe, либо с нестабильностью этих комплексов при данных температурах отжига.

Для выяснения этого вопроса образцы Si<B,S,Fe>, Si<B,S,Cr>, а также контрольные образцы Si<B,S> подвергали последующему отжигу в интервале 820-960°C в течение 1 ч. При этом для сравнения отжигали образцы кремния, последовательно легированные серой при 1200°C и Fe и Cr при 1250°C. Выбор относительно высокой температуры легирования Fe и Cr продиктован тем, что при данной температуре их растворимость сравнима с растворимостью серы при 1200°C. Таким образом, в

кристаллах Si отжиг при 820-960°C приводит к нейтрализации электроактивных примесных центров.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Т. У. Тошбоев.

КУЛОНОВСКАЯ БЛОКАДА В ПОДВЕШЕННОМ ОДНОЭЛЕКТРОННОМ ТРАНЗИСТОРЕ

А. А. Шевырин

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

Кулоновская блокада в одноэлектронных транзисторах с квантовой точкой, оторванной от подложки, представляет особенный интерес [1]. Важнейшей характеристикой одноэлектронных транзисторов, работающих на основе кулоновской блокады, является величина зарядовой энергии, определяющая температуру, при которой транзистор работоспособен.

Одноэлектронный транзистор был изготовлен на основе гетероструктуры GaAs/AlGaAs, выращенной поверх жертвенного слоя AlAs с применением технологий электронной литографии и селективного травления. В результате была получена оторванная от подложки нанопроволока с квантовой точкой, определенной двумя сужениями и имеющей латеральные линейные размеры около 600 нм.

Для изучения кулоновской блокады в полученном транзисторе проводились измерения сопротивления транзистора в зависимости от затворного напряжения и напряжения между стоком и истоком. Измерения проводились методом синхронного детектирования при температуре 4.2 К. Был измерен кондактанс как до, так и после вытравливания жертвенного слоя.

Обнаружено, что кондактанс как функция затворного и тянущего напряжений имеет ромбовидную структуру, характерную для эффекта кулоновской блокады. Максимальная величина зарядовой энергии в температурных единицах увеличилась с 40 К для неподвешенного до 150 К для подвешенного транзистора, что связано с отрывом квантовой точки от подложки и помещением ее в среду с меньшей диэлектрической проницаемостью. Зарядовая энергия подвешенного транзистора меняется вместе с числом электронов на квантовой точке от 4 до 13 мэВ, что можно связать с изменением эффективного размера точки. По оценкам число электронов зарядки меняется от 1 до 4. Кроме того, обнаружена блокада туннелирования, дополнительная к кулоновской, наблюдаемая в условиях, при которых обычный транзистор с кулоновской блокадой должен быть

открыт. Полученные результаты были проанализированы в рамках моделей фононной и упруго-деформационной блокады.

1. А. Г. Погосов, М. В. Буданцев, А. А. Шевырин и др., Блокада туннелирования в подвешенном одноэлектронном транзисторе, Письма в ЖЭТФ, 87, 176 (2008).

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЛАВИННОГО ПРОБОЯ В GaAs ТРАНЗИСТОРАХ ТИПА MESFET

А. К. Шестаков

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

Возникновение лавинной генерации в полевых транзисторах при больших напряжениях на стоке приводит к резкому возрастанию тока (явлению пробоя) и выходу прибора из строя. Это значительно ограничивает максимальное рабочее напряжение транзистора, а, следовательно, и его выходную мощность. Поэтому создание конструкции транзистора с оптимальными параметрами, обеспечивающими максимальное напряжение пробоя, является важной задачей. Определить оптимальные параметры можно с помощью численного компьютерного моделирования. Для этой цели в данной работе был использован программно-технологический комплекс Synopsys TCAD.

Явление пробоя в различных полупроводниковых приборах было неоднократно описано в литературе. Моделирование этого явление так же проводилось, например, в работах [1,2]. Но во всех этих работах не были учтены некоторые физические процессы, происходящие при пробое. В частности явление рекомбинации, хотя ее учет может значительно повлиять на величину напряжения пробоя. Развита в данной работе модель полевого GaAs транзистора дает возможность учесть это явление, что позволяет получить более точные данные о величине напряжения пробоя и ее зависимости от электрофизических параметров исходных структур.

Для того чтобы убедиться, что разработанная модель правильно описывает явление пробоя, были рассчитаны несколько простых случаев и произведено сравнение полученных результатов с литературными данными. Было проведено моделирование пробоя в однородно

легированном слое GaAs, в слое GaAs с p-n переходом, в плоских полевых GaAs транзисторах типа MESFET и PHEMT.

1. Y. Wada, M. Tomizawa, Drain Avalanche Breakdown in Gallium Arsenide MESFET's, IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 35, no. 11, pp. 1765–1770, 1988.

2. Е. В. Бувайлик, Я. Б. Мартынов, Э. В. Погорелова, Исследование физических механизмов, ограничивающих максимальную мощность и эффективность полевых транзисторов с барьером Шоттки, Радиотехника, 2004 г., №2.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук К. С. Журавлев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОЕВ SiO_2 , ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ Ge^+ , В ПРОЦЕССЕ БЫСТРЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ ОТЖИГОВ

К. А. Шмидт

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

В последнее время наблюдается возрастающий интерес к кремниевым низкоразмерным структурам, излучающим видимый свет при комнатной температуре. Подобные эффективные излучатели могли бы иметь большое значение для кремниевой микроэлектроники, поскольку позволили бы интегрировать схемы оптической и электрической обработки информации. Среди различных методов получения подобных структур, одним из наиболее перспективных является метод ионной имплантации кремния или германия в термически выращенные на подложке кремния слои SiO_2 . Техника создания нанокластеров этим методом состоит из двух основных стадий: непосредственно самой ионной имплантации и последующего отжига. Большинство опубликованных работ по эллипсометрии и другим методам исследования таких наноструктур, содержат результаты, полученные *post factum*, т.е. уже после отжига. Достаточно очевидно, что измерения, производимые непосредственно в ходе высокотемпературной обработки (*in situ*), дают гораздо более ценную информацию о процессах формирования полупроводниковых нанокластеров в матрице из диэлектрика (в частности, о фазовом состоянии этих кластеров, которое и определяет их конечные оптические и электронные свойства).

В ходе работ, выполненных в рамках грантов РФФИ №00-02-17638-а и №03-02-16455-а, было убедительно показано, что метод одноволновой быстродействующей эллипсометрии может с успехом использоваться для диагностики высокотемпературных фазовых переходов в тонкоплёночных системах «полупроводник-полупроводник», «полупроводник-диэлектрик». Формирование нанокластеров Ge при отжиге имплантированных слоёв широкозонных диэлектриков неизбежно приводит к изменению оптических параметров (показателя преломления и коэффициента экстинкции) отражающей системы, которые могут быть быстро и точно зафиксированы одноволновым эллипсометром ЛЭФ-751. В данной работе исследована динамика быстропротекающего отжига (от 1 до 100 секунд) слоёв SiO₂, имплантированных ионами германия, в диапазоне температур до 1400 К.

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

ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК СЕНСОРОВ NO₂ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК WO₃ ОТ ИХ МИКРОСТРУКТУРЫ

Д. М. Юркин

Томский государственный университет

Одними из главных загрязняющих токсичных газов в атмосфере являются оксиды азота NO_x, причем уровень предельно допустимых концентраций основной составляющей NO₂ соответствует ПДК_{макс}=46 ppb, ПДК_{сред}=22 ppb. В настоящее время ведутся интенсивные исследования, направленные на разработку резистивных сенсоров NO_x на основе металлооксидных полупроводников. Одними из наиболее перспективных являются тонкие нанокристаллические пленки триоксида вольфрама, которые гораздо менее чувствительны к восстановительным газам (CO, H₂, CH₄ и др.) и могут обеспечить селективность детектирования NO₂ и NO. Характеристики сенсоров в значительной степени определяются микроструктурой пленок.

В данной работе выполнены исследования влияния температуры отжига в диапазоне 400÷700°C на электрические и газочувствительные характеристики тонких (около 100 нм) пленок WO₃, полученных методом магнетронного напыления на постоянном токе. Изучены особенности слоев WO₃, легированных примесью золота. Исследованы проводимость в чистом воздухе и адсорбционный отклик на воздействие диоксида азота в зависимости от рабочей температуры, времени установления

стационарного значения отклика и концентрации газа в воздухе для пленок WO_3 и $WO_3:Au$. Установленные закономерности сопоставлены с изменением микроструктуры слоев, которая контролировалась методами атомно-силовой микроскопии и рентгеновской дифракции.

Показано, что оптимальными условиями термообработки являются температура $500^\circ C$ и длительность 12 часов, обеспечивающие минимальные размеры зерна 40-60 нм в пленках WO_3 . Легирование пленок примесью золота способствует снижению размера зерна до 30 нм, предотвращает их коагуляцию в процессе отжига, а также обеспечивает значения сопротивления пленок $\leq 1 \div 2$ МОм, что и требуется для разработки сенсоров с пониженным уровнем шумов. Снижение проводимости сенсоров при увеличении концентрации газа в диапазоне 45 ppb – 7 ppm соответствует степенному закону с показателем степени 0.5 и достигает насыщения выше 14 ppm. Тонкие пленки $WO_3:Au$ отличаются высокой чувствительностью к воздействию следовых ($0.045 \div 9$ ppm) концентраций диоксида азота в воздухе.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук, с.н.с. Н. К. Максимова,
канд. физ.-мат. наук О. В. Анисимов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛК НА ОСНОВЕ $ZnS:Cu,Al$

Т. М. Яскевич, А. В. Тяжев
Сибирский физико-технический институт
Томский государственный университет

В Сибирском физико-техническом институте при ТГУ разработаны высокочувствительные координатные детекторы ионизирующего излучения. Предлагается использовать свойства люминофоров для создания таких детекторов с оптическим выходом информации, которая формируется в слое GaAs с большим удельным сопротивлением при воздействии на него потока высокоэнергетических частиц.

Исследовались электролюминесцентные конденсаторы (ЭЛК) двух серий – ЭЛК, полученные в СФТИ, и ЭЛК, изготовленные на основе люминофора фирмой «DuPont Electronic Materials». ЭЛК содержали цинкосульфидный люминофор в связующем диэлектрике. Активатором и соактиватором кристаллофосфора были Cu и Al. Средний размер кристаллов люминофора находился в пределах 5 – 10 мкм. В качестве связующего диэлектрика для ЭЛК первой серии был выбран эпоксидный

клей, толщина пленок варьировалась от 35 до 190 мкм. ЭЛК второй серии были изготовлены на основе пасты 8154L фирмы «DuPont». Их толщина составляла 50 мкм. ЭЛК обеих серий изготовлены печатным способом.

Изучение оптических характеристик ЭЛК осуществлялось на прямоугольных импульсах и на синусоидальном сигнале, все эксперименты проводились при температуре 293 - 295 К.

В работе изучены вольт-яркостные характеристики, зависимости яркости свечения от частоты возбуждающего сигнала, длительности прямоугольного импульса, толщины пленок. Исследованы электрические характеристики образцов: световые и темновые вольт-амперные характеристики, частотные зависимости емкости и активной проводимости. В ходе эксперимента установлено, что пороговое напряжение ЭЛК, изготовленных в СФТИ, составляет 75 В, у ЭЛК второй серии - 125 В. Интервал рабочих частот $f = 400 - 1000$ Гц. Яркость свечения образцов при напряжении 100 - 140 В и $f = 400$ Гц составляет 10 кд/м^2 . Причем, яркость свечения ЭЛК, изготовленных в СФТИ, не хуже, чем у ЭЛК на основе люминофора фирмы «DuPont» с аналогичной структурой. Длина волны, излучаемая ЭЛК обеих серий, составляла 560 ± 25 нм и 540 ± 25 нм, соответственно.

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

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТВЕДОТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ НИТРАТА АММОНИЯ И АКТИВНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СВЯЗУЮЩЕГО.

И. С. Беспалов

НИИ прикладной математики и механики
Томский государственный университет

Основной проблемой при разработке твердых ракетных топлив (ТРТ) на основе нитрата аммония (НА) является то, что данные ТРТ обладают меньшими энергетическими показателями по сравнению с ТРТ на основе перхлората аммония. Существует несколько способов повышения вышеуказанных характеристик: применение активных горючих связующих веществ (ГСВ), которые являются дополнительным количеством окислителя, а также применение порошков металлов различной дисперсности. В данной работе произведен расчет и анализ основных термодинамических параметров (удельный импульс и температура продуктов сгорания) твредотопливных композиций на основе НА и активного ГСВ марки НГУ, и порошка алюминия, взятого в количестве 15%. Расчет производился в интервале значений коэффициента избытка окислителя (α) от 1.1 до 1.2. Расчет производился при помощи программного комплекса “Астра-4” при давлении в 1 атмосферу. В результате анализа полученных данных было выявлено, что композиции с $\alpha=1.1$ обладают наибольшими значениями удельного импульса и температуры продуктов сгорания.

α	Иуд(сек)	T(K)
1.1	186	2838
1.15	185	2823
1.2	184	2807

Также было произведено исследование скорости горения данных топливных композиций. Исследование скорости горения производилось при давлении в 1 атмосферу. В качестве металлического горючего применялись порошки алюминия различной дисперсности. Использовались порошки марки АСД и УДП, в различных соотношениях: АСД-100%, УДП-100%, АСД/УДП-50%/50%. Для систем, в которых в качестве металлического горючего применялся только АСД, горения не

наблюдалось. Скорости горения были получены для только систем с УДП и АСД/УДП-50%/50%.

АСД/УДП	Скорость горения(мм/сек)
50%/50%	0.678
0%/100%	0.704

Научный руководитель - канд. техн. наук Л. А. Савельева.

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СВЧ-ПОЛЯ

В.А. Болотов, Е.И. Удалов, Ю.Ю. Танашев¹, Ю.Д. Черноусов²

Новосибирский государственный университет

¹Институт катализа имени Г.К.Борескова СО РАН

²Институт химической кинетики и горения СО РАН

В последнее время возрастает интерес к применению СВЧ энергии в технологических целях, например, для проведения химических реакций с нагревом реагентов в СВЧ-поле [1-4]. Преимущества данного способа: высокий к.п.д. нагрева реагентов (более 50%); высокая степень плотности мощности нагрева; селективность нагрева; экологическая «чистота» процесса – нагрев реагентов в замкнутом объеме без контакта с внешними элементами установки; высокая, 100% управляемость процессом. Первые работы середины 80-х гг. [2,3] по использованию СВЧ энергии для нагрева реагентов химических процессов привели к неожиданным и многообещающим результатам, был обнаружен т.н. «микроволновый эффект» (резкое увеличение скорости химической реакции), в погоне за которым и его объяснением до настоящего время заняты многочисленные ученые во многих лабораториях мира. «Микроволновые эффекты» могут иметь различную природу и требуют отдельного изучения [4,5]. В данной работе проведен теоретический анализ и впервые получены соотношения для расчета к.п.д. преобразования СВЧ энергии в теплоту нагрева реагентов; выполнены измерения к.п.д. для ряда веществ. Создана лабораторная установка для проведения химических реакций на уровень СВЧ мощности 300 Вт, включающая в себя высокодобротный прямоугольный резонатор, возбуждаемый на типе колебаний H102. Рабочая частота 2450±100 МГц. Мощность энергоснабжения до 100 Вт/см³, скорость нагрева образца более 1000С/с. Установка использована для проведения селективного терморазложения тяжелых углеводов.

1. Рахманкулов Д. Л., Бикбулатов И. Х., Шулаев Н. С., Шавшукова С. Ю. Микроволновое излучение и интенсификация химических процессов. М., "Химия", 2003.
2. Gedye R., Smith F., Westaway K. et al. // *Tetrahedron Letters*. 1986. V.27. P.279.
3. Giguere R. J., Bray Scott T. L., Duncan M., Majetich G. // *Tetrahedron Letters*. 1986. V.27. P.4945.
4. Ванцев А.С., Третьяков Ю.Д. // *Успехи химии*. 2007. Т.76. №5. С.435.
5. Bren U., Krzan A., Mavri J.//*J. Phys. Chem. A*, 2008. Vol. 112. 2

Научные руководители - канд. хим. наук Ю.Ю. Танашев, канд. техн. наук Ю.Д.Черноусов.

МЕТОД ЯМР-ЗОНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НАНОПОРИСТЫХ СИСТЕМ

О.В. Боровкова

Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН
Новосибирский государственный университет

Практические применения нанопористых материалов в качестве молекулярных сорбентов обуславливают исследования динамических процессов в системах гость-хозяин [1-2]. К числу перспективных нанопористых материалов относится высокопористый металлоорганический сорбент - терефталат цинка $Zn_2(C_8H_4O_4)_2[(CH_2)_6N_2]$ [3]. Ранее методами $^{1,2}H$ ЯМР было изучено поведение молекул ацетона (и дейтероацетона) $(CH_3)_2CO$ внедренных в поры сорбента. Обнаружено, что терефталат цинка характеризуется низкотемпературным фазовым переходом (~ 140 К), внедрение молекул ацетона приводит к концентрационному фазовому переходу, который сопровождается изменением структурной симметрии матрицы и молекулярной подвижности гостевых молекул [4]. Предположительно, внедрение молекул приводит к стабилизации низкотемпературной фазы.

Целью данной работы было исследование структурных превращений и динамики различных молекул в $Zn_2(C_8H_4O_4)_2[(CH_2)_6N_2]$ методами $^{1,2}H$, ^{19}F ЯМР (метод ЯМР-зонда) и сканирующей калориметрии в широком интервале температур (от 130 до 310 К). В качестве гостевых

(зондирующих) молекул в данной работе были использованы ацетонитрил CH_3CN , дейтерированный ацетонитрил CD_3CN , фторбензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{F}$ и гексафторбензол C_6F_6 . Ступенчатую абсорбцию осуществляли из насыщенных паров при нормальных условиях.

Обнаружено, что гостевые молекулы характеризуются различными активационными подвижностями и тепловыми свойствами.

-
1. R. J. Hill, D. L. Long, N. R. Champness, P. Huberstay, M. Schröder, *Acc. Chem. Res.* 2005, 38, 335-348.
 2. C. Janiac, *Dalton Trans.* 2003, 2781-2804.
 3. D.N. Dybtsev, H.Chun, S.H. Yoon, D. Kim, K. Kim. *JACS*, 2004, 126, 32-33.
 4. S. P.Gabuda, S.G Kozlova, D. Dybtsev, V. Fedin, to be published.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. П. Габуда.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГИИ СВЯЗЫВАНИЯ Zn^{2+} В ДИКОЙ И МУТАНТНОЙ G245C ФОРМАХ БЕЛКА p53 МЕТОДАМИ DFT

И.В. Бугаков

Новосибирский государственный университет

Ранее [1], методами молекулярного моделирования на качественном уровне была подтверждена гипотеза, что мутация G245C приводит к образованию дополнительного сайта связывания иона цинка, расположенного в непосредственной близости с функционально значимым цинк-связывающим сайтом. Было показано, что энергии взаимодействия иона цинка в мутанте в обоих сайтах соизмеримы по величине, с преимуществом по энергии у нового сайта связывания. Наличие дополнительного сайта связывания Zn^{2+} в мутантной форме может приводить к нарушению взаимодействия p53 с ДНК.

С помощью пакета квантово-химических программ GAMESS методом DFT с использованием гибридного функционала плотности B3LYP в базисе 6-31G(d,p) были рассчитаны энергии связи иона Zn^{2+} в обоих цинк-связывающих сайтах мутированной формы G245C белка p53. Были использованы пространственные структуры домена p53: структура дикого типа (PDB ID 1gzh), и модельная структура мутанта G245C [2].

Поскольку молекулы, содержащие тысячи атомов, в настоящее время недоступны для расчетов методами квантовой химии, были созданы

небольшие (не более 70 атомов) кластерные модели, которые включали атомы самого сайта связывания и его ближайшего координационного окружения. В подобном кластерном моделировании предполагается, что изменение геометрии дальнего окружения, обусловленное мутациями, влияет на изменение энергии связи иона Zn^{2+} через изменение геометрии локального окружения. При создании кластеров оборванные связи насыщались атомами водорода.

Результаты расчетов показали качественное согласие с результатами, полученными ранее [1] и продемонстрировали важность учета изменения обменно-корреляционной энергии при связывании иона цинка.

1. Э.С. Фомин, В.А. Иванисеноко. Подтверждение функциональности дополнительного Zn^{2+} сайта связывания в мутантной форме G245C белка р53.// Биофизика, 2008, в печати

2. Ivanisenko V.A., Pintus S.S., Grigorovich D.A., Kolchanov N.A.// Nucleic Acids Res., 2005. V. 33. P.D183.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, Э. С. Фомин.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ 5-АМИНОТЕТРАЗОЛА МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Н.В. Будачёв, А.А. Палецкий, О.П. Коробейничев
Институт химической кинетики и горения СО РАН

5-аминотетразол (5-АТ, CH_3N_5) - соединение с высоким содержанием азота, положительной энтальпией образования и высокой температурой разложения. 5-АТ широко используется в газогенерирующих устройствах, включая автомобильные подушки безопасности и твёрдотопливные огнетушители. Однако, несмотря на широкие возможности его применения, химия разложения таких веществ в настоящее время слабо изучена.

В данной работе методом зондовой молекулярно-пучковой масс-спектрометрии [1] было проведено систематическое исследование кинетики и механизма термического разложения 5-АТ. Всего было идентифицировано 6 продуктов разложения: HN_3 , N_2 , NH_2CN , HCN , меламина, а также пары 5-АТ. На основании экспериментальных данных было рассмотрено два пути разложения 5-АТ, соотношение между которыми составило 1:3. По скорости образования основных газовых

продуктов HN_3 (1 путь) и N_2 (2 путь) в неизотермических условиях были вычислены кинетические параметры реакций термического разложения 5-АТ по каждому из путей.

Согласно полученным данным основное выделение тепла происходит при распаде образующегося HN_3 . В работе было проведено численное моделирование горения HN_3 , как основного продукта разложения 5-АТ, с использованием пакета CHEMKIN и предложенного механизма распада HN_3 .

Полученные кинетические параметры первичных стадий разложения 5-АТ и результаты моделирования пламени HN_3 могут быть использованы для понимания механизма горения 5-АТ.

Коробейничев О.П., “Динамическая зондовая масс-спектрометрия пламен и процессов разложения конденсированных систем”, Физика горения и взрыва, №5, 1987, стр. 64-75.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. О. П. Коробейничев.

ПРИЧИНА НЕСОГЛАСОВАННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО СКОРОСТЯМ НУКЛЕАЦИИ В ПАРОГАЗОВЫХ СИСТЕМАХ.

А. А. Вольф

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Для эмпирического исследования кинетики нуклеации существуют несколько экспериментальных методов. Независимые результаты, полученные с использованием различных экспериментальных схем, демонстрируют несовпадение экспериментальных данных по скоростям нуклеации для идентичных парогазовых систем, находящихся при одинаковых условиях. Природа этих несоответствий пока не изучена. До настоящего момента остаётся дискуссионным вопрос о роли газа-носителя, в среде которого происходит нуклеация пара.

В данной работе обсуждается предложение, что причиной несовпадения экспериментальных данных для различных методов является то, что не учитывается влияние газа-носителя на процесс нуклеации. В большей части экспериментальных и теоретических работ газ-носитель рассматривается только как термостатирующая среда. Недавно полученные эмпирические результаты показали, что нуклеирующую

систему пар-газ надо рассматривать, как бинарную. Т.е. в общем случае к координатам скорость нуклеации – давление надо добавить третью координату – состав. При этом изотерма скорости нуклеации трансформируется в поверхность.

Приводится сравнение результатов для различных экспериментальных методов на примере опубликованных эмпирических данных. На модельной системе показано, что существующие эмпирические методы реализуют различные траектории в пространстве параметров нуклеации, что может быть объяснением причины расхождения данных, и демонстрирует необходимость рассмотрения газа как индивидуального компонента при нуклеации в парогазовых системах

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, М. П. Анисимов.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ГАЗО-ЖИДКОСТНОЙ НУКЛЕАЦИИ БИНАРНЫХ СИСТЕМ

Т.И.Головская

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Вычисление скорости газо-жидкостной бинарной нуклеации является важной задачей. Частным случаем бинарной системы является смесь пара и газа носителя. До настоящего времени в экспериментальных и теоретических исследованиях часто не учитывают, что газ носитель может выступать как нуклеирующий компонент. Однако эксперименты указывают на участие газа носителя в нуклеации[1]. Например, при увеличении концентрации газа носителя, наблюдался сдвиг температуры фазового перехода в сторону критической температуры этого газа.

Скорость нуклеации в рамках классической теории определяется числом критических зародышей, образующихся в единице объема в единицу времени. Количество образовавшихся зародышей зависит от энергии Гиббса, затраченной на этот процесс. Критический зародыш соответствует седловой точке на поверхности энергии Гиббса.

В работе были приняты следующие приближения. Двухкомпонентная газовая смесь идеальна. Образуются капли сравнительно большого радиуса. В системе возможно образование чистых зародышей первого и второго сорта и смешанных зародышей, состоящих из молекул двух сортов. Смешанные капли мы рассматриваем, как регулярный раствор. Особенности поведения регулярного раствора при определенной

температуре приводит к расслоению. Скорость нуклеации, скачком меняется при переходе через температуру расслоения, что существенно отражается на составе дисперсной фазы.

1. M.P. Anisimov, J.A. Koropachak, A.G. Nashubilin, L.V. Timoshina
J.Chem.Phys, 112, 9917 (1998).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. П.А. Пуртов

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМАГНИТНОЙ РЕЛАКСАЦИИ ИОН-РАДИКАЛОВ СИММЕТРИЧНЫХ МОЛЕКУЛ В РАСТВОРАХ

О. А. Горбунов

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Хорошо известно, что характерное время спин-решеточной релаксации углеводородных радикалов составляет $10^{-6} - 10^{-7}$ с. Основными механизмами релаксации в таких системах являются модуляция анизотропных сверхтонких взаимодействий и g-тензора хаотическим молекулярным движением.

Однако у ион-радикалов некоторых соединений с осью симметрии третьего порядка и выше (бензол, циклогексан и т.д.) времена релаксации аномально быстрые - на один-два порядка меньше, чем у менее симметричных радикалов [2,3]. Помимо аномально быстрой релаксации в циклических системах наблюдается также нетривиальная зависимость от вида заместителя. У метилциклогексана время релаксации оказывается больше, чем у циклогексана, что естественно ввиду понижения симметрии, но меньше, чем у этилциклогексана [3].

Сокращение времени релаксации в принципе могло бы происходить за счет спин-орбитального взаимодействия. Было предложено следующее объяснение: спин-орбитальное взаимодействие есть, но оно «включается» только на короткий промежуток времени (переход между ян-теллеровскими конформациями), что и обуславливает повышенную скорость релаксации.

Один из возможных путей решения данной задачи состоит в следующем. На основе волновых функций плоского ротатора строятся волновые функции симметричной молекулы, обладающие требуемыми

свойствами симметрии. После этого в систему вводится возмущение, характеризующееся величиной и угловой зависимостью. В конечном итоге по известной связи времени релаксации и параметров системы (константа спин-орбитального взаимодействия) возможно объяснение наблюдаемого эффекта.

1. D. Kivelson, Theory of ESR Linewidth for Benzene Negative Ion Radicals, J. Chem. Phys. V. 45 (1966).

2. В. И. Боровков, Ю. Н. Молин, Необычно быстрая парамагнитная релаксация катион-радикалов циклогексана и адамантана, Физическая химия, т. 396, №5 (2004).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. П. А. Пуртов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОМОГЕННОЙ НУКЛЕАЦИИ ПЕРЕСЫЩЕННЫХ ПАРОВ ИНДОМЕТАЦИНА

Р. К. Жданов

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Индометацин – это негормональное противовоспалительное лекарственное вещество, разработанное относительно недавно. С его помощью удалось значительно повысить эффективность лечения ревматизма, заболеваний опорно-двигательного аппарата, периферийной нервной системы. Однако оно обладает многочисленными побочными эффектами. Такими как: головная боль, головокружение, нарушение функции печени и др. Альтернативой традиционному пероральному способу введения данного вещества является ингаляционный способ доставки в виде наночастиц. Таким образом, актуальной является задача исследования образования наночастиц индометацина из пересыщенного пара. Исследование нуклеации позволит экспериментально определить зависимость поверхностного натяжения и поверхностной энтропии в зависимости от диаметра критического зародыша и температуры. Полученные данные позволят полностью описать термодинамику наносистем, что важно для описания зарождения, эволюции и стабильности наносистем, реакционной способности и других физико-химических свойств.

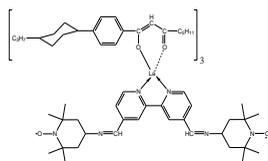
В данной работа разработана проточная камера, позволяющая измерять скорость нуклеации пересыщенного пара индометацина в

зависимости от температуры и пересыщения методом скоростной видеорегистрации. Была определена скорость нуклеации при различных температурах и пересыщении. В ходе экспериментов было измерено давление насыщенного пара индометацина в зависимости от температуры, что необходимо для определения критического пересыщения. Методом падающей капли измерено поверхностное натяжение плоской поверхности индометацина, что необходимо для решения уравнения Гиббса-Толмена-Баффа для определения зависимости поверхностного натяжения зародыша в широком диапазоне размеров на основании экспериментальных данных по скорости нуклеации.

Научные руководители – д-р хим. наук, А. А. Онищук, д-р физ.-мат. наук, проф. П. А. Пуртов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ НЕМАТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА La(III) ИМПУЛЬСНЫМИ МЕТОДАМИ ЭПР

Р.Б. Зарипов, В. И. Джабаров, А. А. Князев, М.В. Стрелков
Физико-технический институт им. Е. К. Завойского КНЦ РАН
Казанский государственный технологический университет



В последние десятилетия жидкокристаллические (ЖК) системы находятся в центре внимания исследователей в связи с возможностями их применения в различных отраслях техники и медицины. Одним из новых классов ЖК систем являются нематические ЖК комплексы лантаноидов. Проблемой изучения подобных систем является то, что из-за наличия длинных алкильных фрагментов нельзя получить монокристалл нематика, а, следовательно, невозможно проводить рентгеноструктурный анализ таких веществ. Существует несколько подходов для теоретического расчета геометрии подобных систем. Критерием выбора той или иной модели может являться расстояние между фрагментами молекулы. Современные импульсные методы ЭПР позволяют определять достаточно большие расстояния между парамагнитными комплексами. Поскольку полученные ранее нематические комплексы не имели парамагнитных центров [1], нами были синтезированы новые лиганд (4,4'-ди(2,2,6,6-тетраметил-пиперидин-1-оксил) диимино-2,2'-бипиридин) и комплекс, изображенный на рисунке. Оба соединения были растворены в о-терфениле. Исследования

проводились на импульсном спектрометре Elexsys E580. Расстояния вычислены из величин диполь-дипольного взаимодействия между парамагнитными центрами, которые определены из экспериментов по регистрации модуляции спада электронного спинового эха (ESEEM) и по импульсному двойному электрон-электронному резонансу (PELDOR). Наибольшая сходимость экспериментальных и расчётных данных получена при использовании полуэмпирического метода Am1 для молекулы лиганда и модели SMLCII/Am1 для комплекса. Определённые из эксперимента расстояния между двумя неспаренными электронами в лиганде (2,1нм) и комплексе (1,6нм) согласуются с теоретически рассчитанными данными по геометрии молекулы (2,2нм и 1,7нм соответственно).

Авторы выражают благодарность за финансовую поддержку грантам РФФИ № 07-03-12163-офи, 08-03-00900-а и BRNE post-doctoral fellowship program (REC007).

Y. G. Galyametdinov et al. 20, p. 252-257(2008)

Научные руководители - чл.-корр. РАН, проф. К. М. Салихов; канд. физ.-мат. наук В. К. Воронкова; д-р хим. наук, проф. Ю.Г. Галяметдинов.

СПЕКТРОСКОПИЯ ЭПР АНИОН-РАДИКАЛОВ АРОМАТИЧЕСКИХ НИТРОСОЕДИНЕНИЙ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ НА АКТИВНЫХ ЦЕНТРАХ ОКСИДНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

А. В. Иванов

Институт Катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

Методом спинового зонда была изучена возможность детектирования изменения свойств донорных центров на поверхности Al₂O₃ после нанесения на них Pd. Подобные системы, содержащие благородные металлы, широко используются как эффективные катализаторы многих химических процессов.

Для детектирования донорных центров (D) в качестве спинового зонда использовались акцепторные молекулы 1,3,5-тринитробензола (TNB), обладающие высоким сродством к электрону (E_a=2.6 eV).

Достаточно стабильные радикальные продукты (нитроксильные радикалы NR) возникают только после взаимодействия TNB с донорными центрами поверхности:



Концентрация донорных центров D на поверхности оксидов невелика (обычно менее 1% монослоя) и они обусловлены какими-то особыми структурными дефектами поверхности. К настоящему времени нет данных о структуре подобных дефектов, строении возникающих нитроксильных радикалов, их взаимном расположении и условиях их стабилизации на поверхности. Основной задачей настоящей работы является изучение строения и свойств таких центров для Pd/Al₂O₃ катализаторов.

Спектры ЭПР радикалов, возникающих на образцах Pd/Al₂O₃ после низкой температуры дегидратации существенно отличаются от образующихся после высокотемпературной активации. Весьма вероятно, что «низкотемпературный» радикал обусловлен протонированием «высокотемпературного» радикала в присутствии Pd и большого количества хемосорбированной воды. Это хорошо согласуется с результатами моделирования спектров ЭПР. Важно, что «низкотемпературные» радикалы никогда не наблюдаются для образцов без нанесенного Pd.

Для оценки локальных концентраций образующихся радикалов были использованы методы импульсной спектроскопии ЭПР, дающие прямую информацию о диполь-дипольных взаимодействиях. В работе была проведена такая оценка с использованием данных метода PELDOR (двойной электрон-электронный резонанс).

Научный руководитель – д-р хим. наук. А. М. Володин.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЛИПИДНЫХ БИСЛОЯХ ПО ДАННЫМ ИМПУЛЬСНОГО ЭПР СПИНОВЫХ ЗОНДОВ

Н.П. Исаев

Новосибирский государственный университет

Настоящая работа посвящена исследованию динамики молекул в липидных бислоях. Для этого был предложен метод сравнительного анализа скоростей релаксации в двух-импульсном спаде спинового эха и стимулированного спинового эха [1] в температурном диапазоне 77-150К.

В данной работе были получены ориентированные липидные бислои на стеклянной подложке. Эксперименты проводились для двух ориентаций нормали бислоя к внешнему магнитному полю: параллельной и

перпендикулярной. В качестве спинового зонда была использована стеариновая кислота, спин-меченная в положениях 5 и 16 алкильной цепи. Этот спиновый зонд в силу своей амфифильности хорошо встраивается в мембрану.

Основные результаты данной работы:

- Была обнаружена и исследована динамика в микросекундном диапазоне в ориентированных липидных бислоях при низких температурах.
- Исследование двух ориентаций нормали бислоя относительно внешнего магнитного поля позволило различить вклады от ограниченных и круговых движений спинового зонда.
- Было показано, что амплитуда движений в глубине бислоя намного выше, чем вблизи поверхности.

I.S.A. Dzuba, E.P. Kirilina, E.S. Salnikov, L.V.Kulik, J. Chem. Phys. 122, 2005, 94702-94709.

Научный руководитель д-р физ.-мат. наук С.А. Дзюба.

ИЗУЧЕНИЕ ФОТОЛИЗА ДЕОКСИБЕНЗОИНА В ЦИКЛОДЕКСТРИНЕ МЕТОДОМ ЭПР С ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ.

О. А. Крумкачёва

Институт международный томографический Центр СО РАН
Новосибирский государственный университет

Способность CD образовывать в водном растворе комплексы включения с другими молекулами позволяет изменять химические и физические свойства находящихся в CD веществ. В данной работе исследовалось влияние β -CD на фотолиз деоксибензоина (ДОБ) (длина волны 266 нм) методом ЭПР с временным разрешением.

При фотолизе ДОБ в гомогенном растворе (изопропанол) в спектрах ЭПР с временным разрешением регистрировалась мультиплетная поляризация (эмиссия/абсорбция) радикалов Ph-CH₂-C(OH)-Ph и (CH₃)₂C(OH), что указывает на то, основным механизмом реакции является перенос атома водорода с молекулы изопропанола на ДОБ. Известно, что время жизни триплетной молекулы ДОБ при возбуждении на длине волны 347 нм составляет 90 нс [1]. Вследствие этого в гомогенных растворах химическая поляризация электронов (ХПЭ) по

триплетному механизму не наблюдалась, а детектировалась только мультиплетная ХПЭ по радикально-парному механизму.

При фотолизе ДОБ в водном растворе β -CD в спектрах ЭПР с временным разрешением наблюдалась эмиссионная линия, ширина которой равна 20 Гс. Форма спектра не зависела от задержки между импульсами лазера и временем детектирования и оставалась неразрешенной даже при времени детектирования 16 мкс. Экспериментальный спектр хорошо описывается расчетным спектром кетильного радикала Ph-CH₂-C(OH)-Ph. Время электронной релаксации кетильного радикала, определено по кинетике ХПЭ и составляет $T_1=3.6$ мкс. Интегральная эмиссионная ХПЭ сформирована по триплетному механизму. Таким образом, можно сделать вывод, что при проведении фотолиза в циклодекстрине время жизни триплетной молекулы ДОБ существенно укорачивается. Причиной этого, скорее всего, является высокая скорость реакции переноса атома водорода на возбужденную триплетную молекулу ДОБ.

1. Jean-Pierre Fouassier and Andre Merlin, Can. J. Chem. 57, 2812 (1979)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Е. Г. Багрянская.

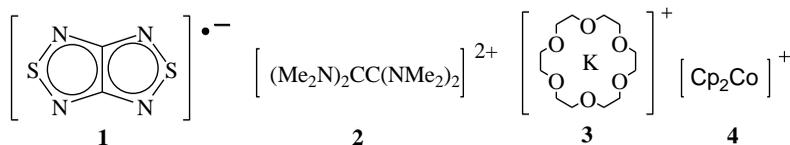
МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АНИОН-РАДИКАЛА 1,2,5-ТИАДИАЗОЛО[3,4-с]-1,2,5- ТИАДИАЗОЛА

А.В. Лончаков

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Одной из наиболее актуальных задач в химии и физике является создание новых материалов, обладающих необычными свойствами, например, молекулярных магнетиков, проводников и сверхпроводников.

В данной работе проведено теоретическое исследование и сопоставление с экспериментом магнитной структуры кристаллов трех новых солей на основе полисера-азотного анион-радикала - 1,2,5-тиадиа-зола[3,4-с]-1,2,5-тиадиазола (**1**), синтезированных в НИОХ СО РАН. Установлено, что соль **1** с дикационом **2** диамагнитна, а соли с катионами **3** и **4** проявляют антиферромагнитное упорядочение при низких температурах.



Для анализа свойств этих кристаллов на молекулярном уровне, нами проведены квантово-химические расчеты парных обменным взаимодействиями радикальных частиц (J) с использованием реальной геометрии кристаллической решетки, полученной методом РСА. Расчеты проводили неограниченным по спину методом теории функционала плотности с нарушенной симметрией в варианте гибридного метода B3LYP/6-31+G(d). На основании полученных в расчете величин обменных взаимодействий между различными парами радикальных частиц определена магнитная структура солей. Установлено, что в случае соли **1** с дикатионом **2**, образуются π -димеры с основным синглетным состоянием. Магнитный мотив соли с катионом **3** неплохо описывается набором однородных цепочек. Магнитный мотив соли с катионом **4** можно приближенно описать двумерной моделью Гейзенберга. Анализ температурной зависимости магнитной восприимчивости солей с катионами **2** и **3** проведен с использованием аппроксимационных зависимостей для одномерной и двумерной моделей Гейзенберга. Кроме того, произведен расчет теоретической зависимости магнитной восприимчивости от температуры для кластеров с использованием уравнения Ван Флека.

Научные руководители – д-р хим. наук, проф. Н. П. Грицан, д-р хим. наук, доцент А. В. Зибарев.

КОМПЛЕКСЫ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК, СФОРМИРОВАННЫЕ ИЗ КАПЕЛЬ ИНДИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ (001) АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

А. А. Лямкина

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

Квантовые точки соединений A^3B^5 являются перспективным объектом исследования, так как могут быть использованы в практически важных устройствах, таких как лазеры, инфракрасные детекторы, квантовые компьютеры и однофотонные излучатели. Основным способом их получения является самоорганизующийся процесс образования массива квантовых точек по Странскому–Крастанову. Он состоит в выращивании

напряженной пленки арсенида индия в двумерном режиме, в которой при критической толщине, близкой к двум монослоям, происходит релаксационный срыв упругих напряжений и переход к объемному росту с формированием массива квантовых точек, имеющих форму пирамиды. Минимальная плотность точек при этом (10^{10} см²) слишком велика для создания однофотонных излучателей. Целью данной работы является поиск способов снижения плотности квантовых точек.

В работе исследуются квантовые точки InAs, выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии из капель индия на поверхности (001) GaAs при температуре 500°C. Для контроля формирования на подложке капель жидкого металла без подачи мышьяка и всего дальнейшего процесса образования комплексов квантовых точек в результате взаимодействия с мышьяком используется дифракция быстрых электронов на отражение. Для измерения спектра фотолюминесценции был выращен дополнительный слой с квантовыми точками, заключенный в обкладках из AlGaAs и GaAs. Спектр люминесценции показал, что у выращенных квантовых точек имеется длинноволновый сдвиг по сравнению с точками, полученными методом Странского–Крастанова. Морфология образцов исследовалась методом атомно-силовой микроскопии. Образовавшиеся комплексы имеют сложную кольцевую структуру: центральная точка высотой около 30 нм окружена меньшими (около 10 нм) точками, диаметр комплекса 300 нм и могут рассматриваться как молекулы квантовых точек. Средняя плотность комплексов составила 10^8 см², что достаточно для формирования однофотонного излучателя с токовой накачкой с помощью фотолитографии [1].

I. M. Scholz, S. Buttner, O. Benson, et al, Optics Express 15, 9107 (2007)

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. П. Мощенко.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ КОНВЕРСИИ МЕТАНОЛА НА Pd(111) МЕТОДАМИ РФЭС И МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

А. В. Миллер

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН

Ранее были обнаружены два маршрута разложения метанола на поверхности Pd: быстрое дегидрирование до CO и H₂ и медленное разложение с разрывом связи C-O в молекуле метанола. Разложение с

разрывом связи С-О протекает с образованием соединений CH_x ($x = 0 - 3$) адсорбированных на поверхности катализатора, что в итоге приводит к его полной дезактивации. В присутствии кислорода данные соединения углерода легко удаляются с поверхности уже при температуре 400 К. Соответственно, можно было надеяться, что в присутствии кислорода уже при достаточно низких температурах на поверхности Pd будет протекать разложение метанола с выделением водорода. Целью данной работы является изучение взаимодействия метанола с поверхностью монокристалла Pd(111) в присутствии кислорода в газовой фазе при различных температурах и соотношениях метанол/кислород при совместном использовании методов рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и масс-спектроскопии в режиме *in situ*. Устройство фотоэлектронного спектрометра VG ESCALAB HP, оснащенного специальной ячейкой высокого давления, позволяло в данной работе использовать давление реакционной смеси над образцом ~ 0.01 мбар, что на 4 порядка превышает давление, обычно используемое в фотоэлектронных спектрометрах. Разложение фотоэлектронных спектров C1s на индивидуальные линии позволило идентифицировать соединения углерода на поверхности Pd и определить их относительную концентрацию. Информацию об относительной концентрации продуктов реакции, а также о скорости разложения метанола получали с помощью метода масс-спектрометрии. Показано, что при низких температурах катализатора ($T < 420$ К) даже в эквимольной смеси метанол/кислород скорость разложения метанола крайне низка. В этом случае поверхность блокирована углеродом и СО. При $T > 420$ К происходят удаление углерода в результате взаимодействия с кислородом и десорбция СО, что приводит к резкому увеличению скорости разложения метанола. При этом основным маршрутом реакции является дегидрирование метанола до СО и H_2 . Данные РФЭС свидетельствуют о том, что катализатором реакции разложения метанола является Pd в металлическом состоянии.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. В. Каичев.

ПОШАГОВАЯ МОДЕЛЬ СВЯЗЫВАНИЯ ТВР/ТАТА-БОКС ПОЗВОЛЯЕТ ПРЕДСКАЗЫВАТЬ НАСЛЕДСТВЕННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

П. М. Пономаренко

Новосибирский Государственный университет

Считывание генетической информации (транскрипция) начинается со связывания белка ТВР с ТАТА-боксом, сигналом в 30 нуклеотидах перед стартом. Известно 40 мутаций ТАТА-боксов, связанных с катарактой, раком, склерозом, лейкемией, тромбозом, гипертонией, анемией и рядом других наследственных заболеваний. Поскольку каждый человек имеет 1 мутацию на каждую 1000 нуклеотидов генома (30000 генов, 25% которых имеют ТАТА-боксы), то прогноз влияния мутаций на здоровье очень важен.

В качестве результата сравнительного анализа всех ранее известных закономерностей ТАТА-бокса [1-3] с новейшими измерениями, $-\ln(K_D)$, связывания ТВР с природными ТАТА-боксами [4] нами получено точное уравнение равновесия для связывания ТВР с ТАТА-боксом за 4 шага:

$$-\ln(K_D) = 10.9 - 0.23 \times \ln(K_{D,2}) + 0.15 \times PWM - 0.2 \times \ln(K_{D,1}), \quad (1)$$

где 10.9 – константа неспецифического ТВР/ДНК-связывания; $-\ln(K_{D,2})$ – скольжение ТВР вдоль ДНК [1]; PWM – остановка ТВР на ТАТА-боксе [2]; $-\ln(K_{D,1})$ – эндотермическая стабилизация ТВР/ТАТА-комплекса [3].

Для случая 40 известных мутаций ТАТА-боксов, с помощью уравнения (1) мы впервые сделали прогноз наследственных заболеваний человека, точность которого оказалась 97.5%, статистическая значимость $-\alpha < 10^{-9}$.

1. М. Р. Ponomarenko et al., Identification of sequence-dependent DNA features correlating to activity of DNA sites interacting with proteins, *Bioinformatics*. V. 15, 687-703 (1999).

2. P. Bucher, Weight Matrix Descriptions of four eukaryotic RNA polymerase II promoter elements derived from 502 unrelated promoter sequences, *J. Mol. Biol.* V. 212, 563-578 (1990).

3. М. П. Пономаренко и др., Конструирование оптимальных нуклеотидных последовательностей для ТАТА-боксов эукариот, *ДАН*, Т. 355, 557-561 (1997).

4. Л. К. Савинкова и др., Взаимодействие рекомбинантного ТАТА-связывающего белка с ТАТА-боксами промоторов генов млекопитающих, *Экол. генетика*. Т. 5, В. 2, 44-49 (2007).

Научные руководители - канд. биол. наук Л. К. Савинкова, канд. физ.-мат. наук И.И. Титов.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ С ПРИРОДНЫМИ ПОЛИСАХАРИДАМИ МЕТОДОМ ЯМР-РЕЛАКСАЦИИ

Б. С. Сыдыков

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время разработка новых лекарственных препаратов связана не столько с открытием новых биологически активных соединений, сколько с попыткой улучшения свойств существующих препаратов. Одним из методов для решения этой проблемы является использование супрамолекулярных комплексов или комплексов включения. Основными задачами, решаемыми с помощью этого подхода, являются увеличение растворимости лекарственного препарата, снижение его токсичности и терапевтической дозы. При получении комплексов различных веществ, например лекарственных, естественно возникает проблема доказательства образования комплекса. Для выяснения этого вопроса существуют различные способы, одним из которых является измерение времен спин-спиновой релаксации протонов лекарственного вещества T_2 , чувствительного к изменению размеров молекул, а также подвижности их фрагментов [1-2]. В настоящей работе исследовалось образование комплексов ряда лекарственных препаратов с полисахаридами декстраном и арабиногалактаном. Декстраны являются линейными полимерами, увеличивающими вязкость раствора и обладающими гелеобразующими свойствами. Арабиногалактан является природным полисахаридом разветвленного строения, незначительно увеличивает вязкость раствора и не обладает гелеобразующими свойствами.

В результате показано, что декстраны не образуют комплексы включения с исследуемыми соединениями. В тоже время, в присутствии арабиногалактана наблюдается значительное (более чем на порядок) уменьшение времени релаксации протонов лекарственных препаратов. Спад сигнала эха описывается биэкспоненциальной кинетикой, медленная компонента которой соответствует свободным молекулам в растворе, а быстрая – молекулам в комплексе.

1. Лундин А.Г., Ядерный магнитный резонанс: основы и применения. «Наука», Новосибирск, 1980.

2. Дзюба С.А., Основы магнитного резонанса. Часть 2. Спиновая динамика и релаксация. Издательство НГУ, 1997.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, с.н.с. Н. Э. Поляков.

ИЗУЧЕНИЕ СПИНОВОЙ ДИНАМИКИ ФУЛЛЕРЕНОВ C_{60} И C_{70} В ТРИПЛЕТНОМ СОСТОЯНИИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОГО СПИНОВОГО ЭХА.

М.Н. Уваров

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Триплетное состояние фуллеренов $^3C_{60}$ (бакминстерфуллерена) и $^3C_{70}$ исследуется различными методами уже в течение многих лет, однако до сих пор нет однозначной интерпретации их ЭПР спектров. В настоящее время существуют идеи по использованию триплетного C_{60} в качестве активной среды МАЗЕРА ввиду высокой поляризации спиновых уровней. С другой стороны, фуллерен можно использовать в качестве акцептора электрона и построить на его основе аналог фотосинтетической системы.

Используя двухимпульсную СВЧ последовательность в X-диапазоне, были получены эхо-детектируемые спектры $^3C_{60}$ и $^3C_{70}$ в различных стеклообразных матрицах при различных температурах в пределах 80÷260К. Для их численного моделирования была написана программа на языке MATLAB. Спин-гамильтониан содержал зеемановский член и член диполь-дипольного взаимодействия неспаренных электронов триплетной молекулы с пониженной вследствие эффекта Яна-Теллера симметрией. Рассматривались переходы с $m = 1$ на $m = 0$ и с $m = -1$ на $m = 0$. Поляризация соседних подуровней, зависящая от направления главных осей тензора диполь-дипольного взаимодействия, усреднялась по всем возможным ориентациям молекулы в пространстве.

Для моделирования сужения спектра $^3C_{60}$ с увеличением температуры использовалась модель быстрых псевдовращений молекулы $^3C_{60}$ в потенциале $U = -V \cos \alpha$, где α - угол между главной осью D - тензора и направлением, определяемым локальным окружением исследуемой молекулы. Оказалось, что параметр V с увеличением температуры уменьшается. Кроме того, V зависит от матрицы окружения $^3C_{60}$.

При увеличении температуры форма линии спектра $^3C_{70}$ меняется, но сужения спектра не происходит. Наблюдается явление анизотропной спин-решёточной релаксации, ярко проявляющееся при низких температурах. Этот факт говорит о существенном различии динамических процессов $^3C_{60}$ и $^3C_{70}$ в стеклообразном окружении.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. С.А. Дзюба, канд. физ.-мат. наук Л.В. Кулик.

КОНКАТАМЕРНЫЕ ДНК: ТЕРМОДИНАМИКА И КИНЕТИКА САМОАССОЦИИ ОЛИГОНУКЛЕОТИДНЫХ БЛОКОВ

Н. С. Филиппов

Институт химической биологии и фундаментальной медицины
Новосибирский государственный университет

Олигонуклеотиды (ОН) – короткие синтетические фрагменты нуклеиновых кислот. На их основе могут быть сформированы линейные двуцепочечные полимерные структуры – конкатамеры – рассматриваемые в качестве эффективных усилителей гибридизационного сигнала в генодиагностике.

Целью исследования является разработка подходов к созданию конкатамерных комплексов с заранее заданными физико-химическими свойствами: структурой, стабильностью, длиной полимерной цепи.

Исследовано формирование конкатамерных структур (КС). Определено влияние нуклеотидной последовательности на комплексообразующие свойства и длину полимерной цепи. Регуляцию размера конкатамерной структуры можно проводить, используя более короткие ОН - стопперы, которые, взаимодействуя со свободными концами конкатамера, предотвращают рост цепи. Предложена модель, описывающая формирование и стабильность КС, образованных с участием стопперов. Показано, что нельзя получить аналитическую зависимость равновесных концентраций ОН от термодинамических параметров формирования дуплексных элементов. Предложен численный метод нахождения соответствующих зависимостей. Определена зависимость наиболее вероятной длины КС от равновесной концентрации свободных компонентов системы. Проведена экспериментальная проверка предположенной модели. Исследования стабильности КС показали, что изменения ее температуры плавления при добавлении в раствор стопперов не происходит. Методом задержки в геле показано, что при увеличении концентрации стоппера длина образующихся комплексов уменьшается. Таким образом, меняя концентрацию стоппера в растворе, удается варьировать длину КС.

Для более детального исследования формирования полимерных комплексов со стопперами было проведено исследование кинетики образования КС. Предварительные данные показали, что добавление стопперов приводит к ускорению сборки полимерной структуры, вероятно за счет уменьшения ее длины.

Работа поддержана РФФИ (06-04-49263а) и СО РАН (55, 73).

Научные руководители - канд. хим. наук, зам. дир. ИХБФМ СО РАН Д.В. Пышный, асп. ФФ НГУ А.А. Ломзов.

ФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС ДИСПЕРСНЫХ МАГНЕТИКОВ С ПРЕИМУЩЕСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ МАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ

С. С. Якушкин

Институт катализа им. Г. И. Борескова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Исследование свойств веществ и материалов на основе мелкодисперсных магнетиков является одной из актуальных задач нанотехнологии. Метод ФМР является адекватным инструментом изучения систем состоящих из ансамбля взаимодействующих частиц, который позволяет получать информацию о геометрических и магнитных свойствах системы: характерный размер и форма частиц, плотность упаковки, величина магнитных межчастичных взаимодействий.

В работе [1] метод ФМР применялся для исследования дисперсных магнетиков с преимущественной ориентацией. Работа ясно продемонстрировала, что метод ФМР может быть использован для анализа характеристик системы, например, степени ориентированности частиц в образце или особенностей в распределении их по размерам.

Возможности метода ФМР для исследования дисперсных магнетиков ограничены, как правило, большим неоднородным уширением ($\sim 10^2 \div 10^3$ Э) наблюдаемых линии поглощения. Ранее было показано, что при определенной величине магнитных межчастичных взаимодействий в спектре ФМР наблюдается тонкая структура, связанная со скачкообразным характером намагничивания взаимодействующих частиц [1].

В работе исследованы образцы высоконаполненных пленок для магнитной записи на основе $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$. С использованием теоретической модели, описывающей неоднородно-уширенные спектры ФМР [1], проведено численное моделирование экспериментально наблюдаемых линий поглощения, определен ряд параметров дисперсной системы с преимущественной ориентацией магнитных частиц. Проведен качественный анализ характеристик наблюдаемого спектра тонкой структуры и их связи с геометрическими параметрами ориентированной дисперсной системы.

-
1. С.Н. Трухан, О.Н. Мартьянов, В.Ф. Юданов, ФТТ 50, 440 (2008).
 2. U. Netzelmann, J. Appl. Phys. **68**, 1800 (1990).

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук, О. Н. Мартьянов, канд. физ.-мат. наук С. Н. Трухан.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ИКСОДОВОГО КЛЕЩА И МУРАВЬЕВ В ЭКОСИСТЕМАХ

И. А. Абдулин, О. А. Вшивкова
Сибирский Федеральный университет

Особенности питания и хищническая активность муравьев оказывают существенное влияние на экосистемы. Благодаря этому уничтожается большое количество вредных насекомых. На насекомых многочисленных видов муравьи «охотятся» целенаправленно, а нападение на представителей других видов определяется зависящей от численности муравьев вероятностью встречи муравья и «жертвы».

«Жертвой» муравья-фуражира может стать и иксодовый клещ на начальных стадиях развития (яйцо, личинка, нимфа).

На основе этих предположений построена математическая модель влияния муравьев на численность популяций иксодовых клещей в экосистемах.

Наличие и отсутствие иксодового клеща в экосистеме определяется коэффициентом размножения. Пусть x – плотность клещей в экосистеме, которую рассчитывают как количество особей клеща на единице площади в экосистеме. Тогда коэффициент размножения клещей

$$K = \frac{x_{j+1}}{x_j}, \text{ где } K = \varphi(m, n, y_1, y_2, \dots, y_r) \quad (1)$$

где m – плотность популяции муравьев, n – плотность грызунов, кровью которых питаются личинки и нимфы клеща для перехода на следующую стадию развития, j – номер генерации клеща, y_v – биотические и абиотические компоненты экосистемы ($v=1, 2, \dots, r$). При заданных значениях y_v и n в экосистеме выражение (1) принимает вид $K=\varphi(m)$.

Пусть вероятность отложить N яиц в подстилку для самки клеща равна η_1 , η_2 – вероятность превращения яйца в личинку, η_3 – вероятность перехода «личинка–имаго», $\eta_i(n)$ – вероятность перехода «нимфа–имаго», где i , в зависимости от экологических условий местности, =4 или 5 ($0 < \eta_i < 1$). Тогда $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – соответственно, доли яиц, личинок, нимф, съеденных муравьями ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \ll 1$). На последнем i -м этапе нимфы превращаются в имаго, а часть из них – в самок, которые особенно опасны в присутствии возбудителей энцефалита, болезни Лайма и др. в экосистеме. Пусть γ – доля самок в популяции клеща. Тогда

$$K' = K(n) = N\gamma\eta_1\eta_2 \dots \eta_i \quad (2)$$

$$K^n = K(m) = N\gamma\eta_1(1 - \alpha_1 m)\eta_2(1 - \alpha_2 m)\eta_3(1 - \alpha_3 m)\dots\eta_i \quad (3)$$

K^n – коэффициент размножения клеща в отсутствие влияния муравьев, $K^n < K'$ – коэффициент размножения клеща в условиях влияния муравьев.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Р. Г. Хлебопрос.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОЗОНА С ПОЛИНАСЫЩЕННЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ В РАСТВОРАХ

Е. А. Акальева

Новосибирский государственный университет,
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Озон обладает уникальными окислительными свойствами и играет ключевую роль в экологической гармонии, проявляя разнообразие как лечебных, так и токсических свойств. Однако механизм его действия на клеточном уровне остается невыясненным. Реакции озона с органическими молекулами, содержащими двойные связи, представляют большой интерес для понимания ключевых механизмов биологического действия озона. В настоящее время известно, что реакция O_3 с одиночными $C=C$ связями происходит по механизму Криге [1,2]. До сих пор практически нет информации о специфике взаимодействия озона с сопряженными $C=C$ связями биомолекул. В работе исследовалась реакция озона с β -иононом, содержащим две сопряженные двойные связи, в различных растворителях (метанол и ацетонитрил). β -ионон является структурным аналогом витамина А и ряда каротиноидов, являющихся антиоксидантами. Озон был генерирован при помощи электрического разряда, его концентрация определена стандартным химическим методом – йодометрией. Для анализа продуктов взаимодействия O_3 с β -иононом применены методы ЯМР и хромато-масс-спектрометрии. При анализе ЯМР спектров использована программа ACD Labs, позволяющая симулировать ЯМР спектры наблюдаемых продуктов. Были идентифицированы продукты неполного окисления озоном. Результаты хромато-масс-спектрометрии сопоставлены с поисковой базой данных масс-спектров, что позволило предложить возможные структуры продуктов окисления. Оказалось, что состав продуктов реакции отличается от ожидаемого по классической схеме Криге. Изучена кинетика процесса на разных стадиях. Совокупность результатов позволяет заключить, что наличие сопряженной двойной связи и карбонильной группы в молекуле

β -иона существенно влияет на механизм взаимодействия O_3 с β -ионом по сравнению с одиночной $C=C$ связью и расширяет набор продуктов.

-
1. Разумовский С. Д., Заиков Г.Е., Озон и его реакции с органическими соединениями, М., 1974
 2. Исидоров В. А., Органическая химия атмосферы, Химиздат, 2001

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук Н. Э. Поляков, канд. хим. наук Г. И. Скубневская.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДАМИ ТЕРАГЕРЦОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В.В. Герасимов

Новосибирский государственный университет,
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

Разработка экспериментальных методов спектроскопии в терагерцовом диапазоне является важной задачей для биологии и медицины, т.к. терагерцовое излучение перекрывает весь диапазон резонансных частот биологических молекул, соответствующих внутримолекулярным и межмолекулярным колебаниям. Сегодня существует несколько стандартных методов терагерцовой спектроскопии, использующие широкополосные источники излучения: поглощательная и отражательная спектроскопия, фурье-спектроскопия (ФС), спектроскопия нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) и «спектроскопия высокого временного разрешения». Уникальные характеристики Новосибирского терагерцового лазера на свободных электронах (НЛСЭ) – высокая средняя мощность (100-200 Вт), монохроматичность и плавная перестройка длины волны в диапазоне 120-240 мкм, открывают новые возможности для реализации различных схем спектроскопии, в том числе изображающей спектрально-селективной интроскопии.

Значительная часть биологических веществ содержат свободную или связанную воду, которая сильно поглощает терагерцовое излучение. За основу была выбрана разработка спектрометров НПВО, позволяющих работать с сильнопоглощающими объектами. Кроме того, по спектрам НПВО, измеренным при двух поляризациях, можно восстановить реальную и мнимую часть показателя преломления. В данной работе описаны НПВО приставка, созданная нами для стандартного ФС фирмы Bruker, и НПВО-спектрометр - для работы на НЛСЭ. Они позволяют

измерять спектры сред в твердой и жидкой фазе с коэффициентом поглощения 10^2 - 10^4 см⁻¹. На ФС были измерены НПВО спектры порошков аминокислот, водных растворов, плазмы крови и др. в диапазоне длин волн 2,5 – 300 мкм. Обнаружены характерные пики поглощения. Проведены измерения на НПВО-спектрометре с использованием излучения НЛСЭ и выполнены эксперименты по спектрально-селективной визуализации биологических объектов. Выше перечисленными методами ведутся исследования развития возрастного остеопороза костей крыс, характеризующееся пониженной плотностью костной ткани. Работа выполнена при поддержке Мин. Обр. и науки РФ №2.1.1.211.3846 и гранта РФФИ-07-02-13547.

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

ВОЗМОЖНОСТИ ЯМР-ТОМОГРАФИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СЕМЯН РАСТЕНИЙ

И. А. Елина, Н. Н. Козлова

Красноярский государственный педагогический университет

им. В.П. Астафьева,

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

В работе приведены результаты исследования процессов поступления воды в семена при их набухании из анализа данных магнитно-резонансной томографии (МРТ). Измерения проводились на томографе фирмы «Bruker» с напряженностью магнитного поля ~ 5 Тл, частотой 200 МГц по протонам. Измерения выполнялись в нескольких проекциях с толщиной среза 1,5 мм. Использовались средневзвешенные изображения, время накопления сигнала 40 мин.

Изучены томографические снимки семян фасоли, гороха, бобов, тыквы. Для анализа семена брались свежесобранные (тыква) воздушно сухие и набухшие после контакта с водой в разных стадиях набухания (фасоль, горох). Использование метода МРТ позволяет изучать динамику поступления воды и распределение ее в поровом пространстве без разрушения образцов. Амплитуда сигнала ЯМР для отдельного элемента изображения пропорциональна объему заполненных жидкостью пор.

Нами получены следующие результаты. Свежесобранные семена тыквы, извлеченные из плода перед экспериментом, дают светлое изображение на темном фоне, что свидетельствует о том, что они содержат значительное количество свободной воды, которая затем может удаляться

их высушиванием. Воздушно-сухие семена фасоли на снимках остаются темными, в них содержится очень малое количество свободной воды. При контакте с водой они набухают. Мы изучали динамику этого процесса на семенах фасоли сорта «Лима». Эти семена отличаются большими размерами, их масса может достигать 2 г. В радиочастотный контур помещались по 3 образца семян в горизонтальном и вертикальном положениях, туда добавлялась вода и анализировались МРТ-изображения, проводя серию срезов в поперечном и продольном направлениях. Оказалось, что поступление воды в семена может осуществляться разными способами. В одной серии опытов вода поступала вначале через одну точку, расположенную в районе рубчика, возможно через микропиле, затем она заполняла щель между семядолями, а уже затем заполняла примыкающие к ней участки семядолей. Небольшая часть воды поступала через семенную оболочку. В другой серии опытов вода поступала в основном через оболочку.

Научные руководители: д-р физ.-мат. наук, И. С. Виноградова; канд. физ.-мат. наук О. В. Фалалеев.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УКЛАДКИ α -SHE3 ДОМЕНА: ПОВЕРХНОСТЬ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ И «ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ» ПОТОКИ ИЗОБРАЖАЮЩИХ ТОЧЕК

И.В. Калгин

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

Исследование укладки белков является одной из центральных проблем молекулярной биофизики. Для описания и анализа процесса укладки белков, особенно при интерпретации результатов численного моделирования, широко используются поверхности свободной энергии (ПСЭ) (Sali et al., 1994; Onuchic et al., 1997; Dobson et al., 1998; Dinner et al., 2000; Shea, Brooks III, 2001). ПСЭ сыграли значительную роль в объяснении парадокса Левиналя (Levinthal, 1968) и в обосновании общепринятого “нового взгляда” на укладку белка (Baldwin, 1994). Однако для сложных систем, с множеством степеней свободы, при проектировании на небольшое число переменных, как это обычно делается, ПСЭ не в полной мере определяет динамику; одни и те же значения свободной энергии могут относиться к конформациям, из

которых система движется к нативному состоянию, так и к конформациям, которые не лежат на пути из развернутого состояния белка в нативное. Поэтому важно знать, каким образом потоки изображающих точек системы распределены по ПСЭ. Как показано в [1], это может быть достигнуто с помощью гидродинамической интерпретации процесса укладки.

В данной работе проведено численное моделирование укладки src-SH3 домена методом дискретной молекулярной динамики. Для представления белка используется C-альфа модель, а для задания взаимодействия между мономерами - модель Го. Показано, что на фоне сравнительно гладкой ПСЭ наблюдается сложная гидродинамическая картина укладки, богатая локальными "вихрями" потоков изображающих точек. Гидродинамический подход позволил расшифровать «тонкую» картину динамики системы в «тупиковых» областях ПСЭ.

1. S. F. Chekmarev, A. Yu. Palyanov, and M. Karplus, Hydrodynamic Description of Protein Folding, Phys. Rev. Lett. 100, 018107 (2008).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, профессор С.Ф. Чекмарёв.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИИ В РАСТВОРАХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОКИСЛОВ ЖЕЛЕЗА МЕТОДАМИ МР ТОМОГРАФИИ

Д. А. Кокорин

Новосибирский государственный университет,
Международный томографический центр СО РАН

Магнитные наноразмерные материалы позволяют сочетать высокую растворимость в различных растворителях с ферромагнетизмом и поэтому привлекают пристальный интерес МР томографии как потенциальные контрастирующие агенты [2]. Задачей данной работы является исследование магнитных релаксационных свойств водных растворов наночастиц магнетита Fe_3O_4 , стабилизированных арабиногалактаном, с целью определения структурных и магнитных характеристик данного соединения для последующего его внедрения в медицинскую практику.

Для решения поставленной задачи были найдены релаксивности исследуемого нанокompозита (*таблица 1*). В виду отсутствия теории ядерной релаксации в растворах массивных ферромагнитных частиц для

получения структурных характеристик нанокompозита был смоделирован процесс релаксации растворителя, вызванной диффузией в градиентах магнитных полей наночастиц, методами Монте-Карло.

Таблица 1. Измеренные релаксивности нанокompозита

Поле	Релаксивность r_2 , сек-1/мМ	Релаксивность r_1 , сек-1/мМ
0.5 Т	240±5	30±5
1.5 Т	220±5	

Найденные релаксивности (таблица 1) позволяют рассматривать данное соединение в качестве перспективного контрастирующего агента.

На основании данных моделирования установлены зависимости релаксации растворителя от степени дисперсности железа в грануле, коэффициентов самодиффузии воды внутри и вне гранулы, а также ее радиуса. Таким образом, исходя из сравнения данных моделирования с экспериментально найденными релаксивностями, установлены структурные и магнитные характеристики перспективных контрастирующих агентов на основе наночастиц, стабилизированных арабиногалактаном.

Б. А. Трофимов, Нанокompозиты с магнитными, оптическими и биологически активными свойствами на основе арабиногалактана, //Доклады Академии Наук, Химия, 2003, том 393, №5, с. 634–635

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

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ АГРЕГАЦИИ ТРОМБОЦИТОВ

И. В. Колесникова
Новосибирский государственный университет,
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Агрегация тромбоцитов – один из наиболее важных процессов в организме человека, лежащий в основе свертывания крови (нормального или патологического). Данная работа посвящена развитию оригинальной методики применения сканирующего проточного цитометра (СПЦ) [1] для исследования функциональной активности и агрегационной способности тромбоцитов.

Выходными экспериментальными данными СПЦ являются угловые зависимости светорассеяния от одиночных клеток (индикатрисы светорассеяния). По измеренным индикатрисам светорассеяния

проводилась характеристика отдельных тромбоцитов и их агрегатов. Для измерения цельная венозная кровь забиралась в пробирку с раствором 3.8% цитрата натрия в соотношении объемов 9:1. Затем кровь центрифугировали 10 минут при скорости $1.1 \cdot 10^3$ об/мин для выделения обогащенной тромбоцитами плазмы (ОТП). Перед измерением в полученную ОТП добавляли раствор аденозиндифосфата - индуктора агрегации. Через определенные интервалы времени небольшие порции данной ОТП разбавлялись изотоническим водным буферным раствором в соотношении 10:1 (для остановки агрегации) и затем измерялись на СПЦ (по 10 тысяч клеток для каждой пробы).

В результате работы показана возможность статистического разделения одиночных тромбоцитов от их агрегатов по интегральному светорассеянию в определенные диапазоны полярного угла. По полученным экспериментальным данным строилась зависимость концентрации неагрегированных тромбоцитов от времени, которая на начальном этапе агрегационного процесса теоретически обрабатывалась с использованием уравнения Смолуховского. Кинетика агрегации тромбоцитов оказалась близкой к диффузионной, что говорит о высокой вероятности слипания тромбоцитов за одно столкновение в растворе. Предложено использовать константу скорости агрегации тромбоцитов как диагностический параметр для характеристики тромбоцитарного гемостаза человека.

¹Maltsev V.P. Scanning flow cytometry for individual particle analysis. Review of Scientific Instruments 2000; vol.71, num.1: 243-255.

Научный руководитель:- канд. физ.-мат. наук, А. В. Чернышев.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЯМР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОКАТАЛИЗАТОРОВ И БИОКАТАЛИТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

И. И. Коптюг

Новосибирский государственный университет,
Международный томографический центр СО РАН

Биореакторы широко используются в промышленности для проведения различных химических процессов, проходящих с участием микроорганизмов или биохимически активных веществ, производимых этими микроорганизмами, а также для выращивания тканей и клеток для трансплантации. Эффективная разработка и дальнейшее использование

биокаталитических реакторов требует основательного знания пространственно разрешённых дисперсионных характеристик, пористости слоя биокатализатора, химической конверсии и т. д. Методы ЯМР дают возможность исследовать внутреннюю структуру и свойства объектов, в том числе оптически непрозрачных, без их разрушения. Поэтому методы ЯМР являются перспективными для исследования биокаталитических процессов.

В данной работе исследовалась реакция превращения глюкозы во фруктозу, катализируемая ферментом глюкозоизомеразой, продуцируемым клетками бактерии артробактера, иммобилизованными на пористом ксерогеле оксида кремния. Показано, что присутствие активного компонента (клеток) в гранулах пористого носителя не влияет на параметры сигнала ^1H ЯМР растворителя (воды), но влияет на параметры сигнала ^1H ЯМР субстрата (глюкозы) и продукта (фруктозы). Данный факт позволил получить двумерные T_2 карты глюкозы в порах носителя и биокатализатора, отражающие пространственное распределение активного компонента по слою катализатора. Метод ^{13}C ЯМР спектроскопии применен для исследования кинетики превращения глюкозы во фруктозу, катализируемого ферментом глюкозоизомеразой. Реакцию проводили при 60°C в реакторе постоянного перемешивания. Периодически отбирали пробы и регистрировали их ^{13}C ЯМР спектры, из которых с помощью калибровочных кривых рассчитывали концентрации глюкозы и фруктозы в различные моменты времени. Получено, что через 53 часа проведения реакции достигается степень превращения глюкозы во фруктозу 25 %.

Научный руководитель – канд. хим. наук А. А. Лысова.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СРЕДАХ С ПРОСТРАНСТВЕННО ВАРЬИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

А. М. Кривцун

Амурский государственный университет

Метод Монте-Карло широко применяется для численного решения ряда физических задач. Во всех реализациях данного метода строится стохастическая модель, в которой ожидаемая величина некоторой случайной переменной (или комбинации нескольких переменных) является эквивалентной искомой физической величине. В последние годы успешно развиваются приложения метода в оптике биотканей, что связано

с возрастающим использованием лазеров для целей диагностики и терапии в медицине. В данной работе представлено детальное описание воксельной версии метода Монте-Карло, используемой при моделировании процесса распространения оптического излучения в средах с пространственно варьируемыми оптическими параметрами.

Принимая во внимание сложную неоднородную структуру ткани, будем считать наиболее целесообразной модель в виде прямоугольной области, разделенной на простейшие элементы объема – воксели, обладающие определенными оптическими параметрами. Так как фотон распространяется от одного элементарного акта рассеивания до другого, то для каждого вокселя необходимо проводить проверку на случай изменения оптических свойств: коэффициентов поглощения и рассеивания. Если коэффициент рассеивания изменился, то производится нормировка длины свободного. Если изменился коэффициент поглощения, то статистический вес фотона уменьшается на величину нового коэффициента. Угол рассеивания определяется значением анизотропии g в элементе объема, в котором происходит элементарный акт рассеивания. Распределение поглощенной энергии в пределах среды определяется накоплением статистического веса фотона в каждом элементе объема, соответствующем текущему положению.

На данном этапе работы была построена математическая модель процесса распространения оптического излучения в среде с пространственно варьируемыми оптическими свойствами и выполнена её реализация в среде Microsoft Visual C++. Получены результаты моделирования для сред с различными конфигурациями, в том числе и для многослойной двумерной модели тканей головного мозга человека. На следующем этапе работы планируется добавить возможность работы со средами, полученными в результате обработки компьютерных томограмм пациентов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. Ю. Сетейкин.

МРТ БЕЛКА КУРИНОГО ЯИЦА IN VITRO

Е. В. Морозов

Сибирский федеральный университет,
Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Метод магнитно-резонансной томографии (МРТ) позволяет визуализировать внутреннюю структуру биологических объектов *in vivo*,

однако к настоящему времени не все методические вопросы МРТ ясны окончательно.

В частности, при освоении методики спинового эха с использованием куриного яйца в качестве фантома, обращено внимание на то обстоятельство, что не удастся визуализировать явно неоднородную структуру яичного белка, состоящую, как известно, по крайней мере, из двух (не считая жгутиков) фракций: «густой» и «жидкой». Этот факт, не отмеченный, по-видимому, в литературе, интересен тем, что в существенно более однородной консистенции основной массы желтка легко фиксируются концентрические слои (что даже используется на практике [1]).

При попытках разобраться с этим феноменом проведены отдельные МРТ исследования белка куриного яйца в прозрачной стеклянной пробирке, размещая «густую» фракцию на дне, и заливая ее равным количеством «жидкой» фракции (плотность которой оказывается на 2-3 % больше). При этом посередине четко обозначилась граница между двумя фракциями, и появилась возможность не только убедиться в неразличимости фракций на T_1 -, T_2 - и ρ -взвешенных снимках, но и провести точные измерения МРТ-параметров в гарантированно определенных областях жидкой и густой фракций. Оказалось, что одинаковыми для обеих фракций являются не только времена спин-решеточной $T_1=1,722\pm 0,2$ с и спин-спиновой $T_2=201\pm 3$ мс релаксации, но и коэффициенты самодиффузии $D = (169\pm 2) \cdot 10^{-5}$ мм²/с. Учитывая отсутствие границы на ρ -взвешенном снимке, видимо и протонные плотности одинаковы, несмотря на отмеченное различие обычных плотностей.

Исходя из полученных данных, естественно предположить, что обе фракции имеют сходный состав, но в «густом» белке присутствуют высокомолекулярные мембранные структуры, заключающие жидкую фракцию в полости ограниченных размеров. Для поиска принципов визуализации необходимо провести ЯМР спектроскопические исследования.

1. M.L. Boerjan, Method for selecting eggs, US Patent 6149956 (2000).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, О. В. Фалалеев.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ И ДЕФОРМАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОПТИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТНЫХ ПОЛЕЙ

А. В. Нелепец

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

Важным достижением лазерной физики является неконтактная манипуляция микрочастицами с помощью лазерного излучения. С помощью различных схем реализованы захват вирусов и бактерий, индуцированный синтез клетки, микрооперации в иммунологии и молекулярной генетике, транспортировка и селективная локализация биологических клеток, исследовано движение хромосом.

В работе на основе лучевого подхода выполнено численное моделирование распределения механических сил, возникающих на поверхности сферических частиц за счет изменения момента импульса луча при отражении и преломлении его на границе раздела диэлектриков.

Распределение сил определяется профилем интенсивности излучения и соотношением показателей преломления материала частицы и окружающей среды. В случае, когда показатель преломления материала частицы превышает показатель преломления окружающей среды, механические силы, приложенные к поверхности частицы, стремятся растянуть ее и втянуть в области максимальной интенсивности оптического поля. В случае, когда показатель преломления окружающей среды превышает показатель преломления частицы, силы стремятся сжать частицу и вытолкнуть ее из областей с высокой интенсивностью поля.

Показана возможность деформирования микрочастиц непосредственно за счет градиентных сил светового давления, действующих в направлении, перпендикулярном направлению распространения излучения.

Рассмотрены два способа управляемого деформирования ансамблей частиц в оптических полях с периодической модуляцией интенсивности излучения. Показано, что с точки зрения устойчивости положения частицы, а также минимума сил рассеяния и минимума экспозиции, более перспективным является способ сжатия частиц, реализуемый в случае, когда показатель преломления окружающей среды превышает показатель преломления частицы.

Полученные результаты могут служить созданию неконтактных методов оценки механических свойств деформируемых микрообъектов, в том числе биологических клеток, что важно для диагностирования их функционального состояния и различных патологий.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. В. А. Тарлыков.

ИМПУЛЬСНЫЙ ЭПР ФОТОВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ДИАДЫ ФУЛЛЕРЕН НИТРОКСИЛ

А. В. Пивцов

Новосибирский государственный университет,
Институт Химической Кинетики и Горения СО РАН

Фотовозбужденные состояния фуллерена ${}^3\text{C}_{60}$, ковалентно связанного с нитроксильным радикалом исследуются различными методами уже в течение многих лет, однако до сих пор нет однозначной интерпретации их ЭПР спектров в замороженных растворах. В настоящее время существуют идеи по использованию спин-меченых фуллеренов как материалов для молекулярной электроники и квантового компьютера. Кроме того, на основе фуллерена и его производных можно построить модельную фотосинтетическую систему.

Используя метод двухимпульсного электронного спинового эха, были получены ЭПР спектры фуллерен-нитроксильной диады, растворенной в толуоле и жидком кристалле 5CB при 80К. Эксперимент был проведен в присутствии лазерного излучения и без него. Кроме того, были измерены времена продольной и поперечной релаксации системы.

Далее был проведен теоретический расчет населенностей возбужденных состояний диады, а также были определены параметры обменного и диполь-дипольного взаимодействий. Спин-гамильтониан системы содержал зеэмановский член, член диполь-дипольного взаимодействия неспаренных электронов фотовозбужденного фуллерена ${}^3\text{C}_{60}$, обменного взаимодействия между нитроксильным радикалом и фуллереном, а также диполь-дипольного взаимодействия между ними. Рассматривались переходы между подуровнями квартетного состояния, образованного спинами фотовозбужденного фуллерена ${}^3\text{C}_{60}$ ($S=1$) и радикала ($S=1/2$). Дублетное состояние не рассматривалось по причине быстрой релаксации в основное состояние. Для численного моделирования спектров была написана программа на языке MATLAB.

В результате экспериментов и теоретического расчета было обнаружено, что спектры диады в толуоле и жидком кристалле 5CB сильно отличаются друг от друга. В жидком кристалле интенсивность линии в спектре, соответствующей переходу между проекциями спина квартетного состояния $-1/2 \rightarrow 1/2$ увеличивается в несколько раз по сравнению со спектром диады в толуоле. Это возможно объясняется тем, что в жидком кристалле диада ориентируется определенным образом относительно директора, в результате чего меняется ее конфигурация.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Л. В. Кулик.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭМБРИОНАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕЙ ПРОТОЧНОЙ ЦИТОМЕТРИИ

Ю. Г. Пичугин

Новосибирский государственный университет,
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Стволовые клетки - это группа моноядерных клеток организма, которые способны изменяться (дифференцироваться) в соответствии с нуждами организма. Стволовые клетки могут давать начало любым клеткам организма — и кожным, и нервным, и клеткам крови. Процесс дифференциации стволовой клетки сопряжен со значительными изменениями в ее морфологии. Изменяются ее размеры, форма, положение и размеры ядра. В связи с этим есть необходимость разработки способа быстрого определения таких параметров клетки, как ее размер, размер ядра, коэффициентов преломления (которые связаны с концентрацией белков в клетке).

В основе работы лежит метод проточной сканирующей цитометрии, позволяющий определить зависимость элемента S11 матрицы Мюллера от угла рассеяния. Даная зависимость несет информацию о морфологии клетки. Однако на данный момент не существует какой-либо модели светорассеяния стволовой клетки и способа вычисления параметров клетки по индикатрисе светорассеяния.

Моноядерные клетки в ряде случаев дают высококонтрастную индикатрису. Но, как правило, ее контраст весьма мал, что приводит к неадекватной работе разработанных методов решения обратной задачи светорассеяния. В качестве рабочей модели для решения обратной задачи взята двухслойная сфера, которая может быть легко рассчитана аналитически. Однако в том виде, в котором она существует сейчас, данная модель плохо воспроизводит контраст индикатрисы. Для разрешения этой проблемы была предложено сдвинуть ядро из центра клетки. Согласно численным расчетам, это приводит к значительному падению контраста индикатрисы.

В работе было показано, что комбинирование уже существующего метода многослойной сферы со сдвигом ядра приводит к значительному улучшению степени аппроксимации экспериментальных индикатрис с теоретически рассчитанными, что позволяет еще на шаг приблизиться к решению обратной задачи светорассеяния не только для стволовых клеток, но и для всех моноядерных клеток.

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

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ МОРФОЛОГИИ ЛИМФОЦИТОВ ПО СВЕТОРАССЕЯНИЮ

Д. И. Строкотов

Новосибирский государственный университет,
Институт химической кинетики и горения СО РАН

В составе иммунной системы есть большое количество компонентов, однако решающую роль среди них играют особые клетки крови, к которым относятся Т- и В-лимфоциты. Учитывая принципиально важное значение лимфоцитов в противоопухолевом иммунитете, можно было бы значительно усилить арсенал противоопухолевых методов лечения, если бы удалось эффективно использовать дополнительную информацию – рассеянный ими свет, что откроет новые перспективы в лечении пациентов с иммунодефицитами и опухолями. Разрабатываемый подход создает основы эффективного гематологического анализа.

В данной работе лимфоциты моделировались многослойными сферами, что позволяет определить некоторые параметры клетки, в том числе такой параметр как процент лимфоцитов, ядро которых не смещено от центра.

Основное отличие Сканирующего проточного цитометра (СПЦ) от обычных проточных цитометров состоит в том, что он позволяет измерять светорассеяние от частицы в широком диапазоне углов. Анализ на СПЦ позволяет с высокой точностью определять различные характеристики микрочастицы такие как, например, размер. Было разработано программное обеспечение, позволяющее находить именно ту многослойную сферу, которая наиболее похожа на реальный лимфоцит с точки зрения светорассеяния.

В результате проведенной работы было определено процентное содержание лимфоцитов, имеющих несмещенное ядро. Создано универсальное программное обеспечение, позволяющее исследовать характерные особенности морфологии частиц по светорассеянию. Полученные результаты являются первыми шагами в создании адекватной оптической модели мононуклеарной клетки.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ В МНОГОСЛОЙНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

И. И. Храмцов

Амурский государственный университет

Явление лазерной абляции представляет собой совокупность физико-химических процессов, приводящих к удалению вещества с поверхности или из объёма твёрдого тела. Несмотря на широкое прикладное применение в медицине (например, в качестве лазерного скальпеля), процесс лазерной абляции не имеет должного теоретического обоснования неоднородных биологических сред.

В данной работе моделируется лазерная абляция участка зуба. Предполагается тепловая природа процесса абляции. По достижении участком среды определённого температурного порога, происходит разрыв химических связей и удаление вещества с образованием газового облака, уменьшающего интенсивность лазерного излучения.

Расчёт модели производится методом конечных элементов. Суть метода сводится к разбиению рассматриваемой области на геометрически простые элементы, в пределах которых производится приближённое решение методом взвешенных невязок. В пределах конечного элемента можно предположить однородность среды, на границах вводятся условия непрерывности температурного поля и теплового потока.

В настоящий момент предложена математическая модель лазерной абляции. Созданы программные модули для расчёта температурного поля трёхмерной области и определения количества вещества, удалённого в процессе лазерной абляции. Создаётся трёхмерная геометрическая модель участка зуба.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. Ю. Сетейкин.

РАЗРАБОТКА МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ОСОБО ОПАСНЫХ ВИРУСНЫХ ИНФЕКЦИЙ

Т. Н. Шерстова

Новосибирский государственный университет,
Институт химической кинетики и горения СО РАН,
Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»

Иммунодетекция особо опасных вирусных инфекций, также как и обычных инфекционных заболеваний имеет принципиально важное значение для подтверждения факта наличия в исследуемых пробах опасных инфекционных агентов. Разрабатываемый подход создает основы для создания универсальной системы иммунодетекции особо опасных вирусных патогенов.

Каждый тип микрочастицы несет только один вид антител (биосенсор), формируя на поверхности биосенсора комплексы антиген-антитело в результате специфической реакции. Таким образом, смесь микрочастиц, нагруженных разными видами антител (жидкий чип) позволит одновременно регистрировать наличие различных видов антигена в одной пробе. Индивидуальный адрес каждой частицы будет первоначально задан ее размерами.

Основное отличие Сканирующего проточного цитометра (СПЦ) от обычных проточных цитометров состоит в том, что измеряется разрешенный по углу сигнал светорассеяния от каждой микрочастицы. Его анализ позволяет с высокой точностью определить размер микрочастицы. С целью повышения чувствительности определения количества молекул красителя специфически связанного с полимерной частицей, была проведена модернизация канала измерения флуоресценции СПЦ, которая затронула, как оптическую часть СПЦ, так и программную часть, связанную с измерением и обработкой сигналов флуоресценции.

В результате проведенной работы была создана универсальная многопараметрическая система диагностики, позволяющая определять наличие антигенов, различных вирусных инфекций в одной пробе. Полученные результаты являются первой попыткой использования составного жидкого иммунологического микрочипа на три типа вирусов в одной пробе. По результатам получены количественные данные о наличии комплексов антитело + (антиген вируса). Достигнутая чувствительность позволяет измерять достаточно малые количества образовавшихся комплексов на поверхности микросфер.

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

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОТОННО- КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ КРЕМНЕЗЕМА

И. А. Болдов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

В современной физике особое внимание уделяется созданию и исследованию новых материалов с наперед заданными свойствами. К числу таких материалов можно отнести наноструктуры из упорядоченных ансамблей малых частиц размером 100 – 500 нм. Необычные физические свойства таких наноструктур, отсутствующие в макроскопических телах, представляют как научный, так и прикладной интерес.

В данной работе объектами исследования служили фотонно-кристаллические (ФК) пленки опала, изготовленные способом подвижного мениска, из шариков кремнезёма с размерами от 200-300 нм. В работе также исследовались многослойные пленки, составленные из нескольких слоев, размер шариков в которых отличался.

Анализ спектров пропускания и отражения света от образцов в зависимости от угла и поляризации падающего света, ориентированного относительно плоскости (111) в ФК, показал наличие стоп-зон в ФК, связанных с пространственной периодичностью диэлектрической проницаемости структуры опала. Установлено, что в спектрах отражения/преломления света ансамбль из двух ФК пленок опала имеет не перекрывающиеся стоп-зоны, совпадающие с таковыми для отдельных пленок, указывая на постоянство периодов монокристаллических пленок в гетероструктуре. При изменении угла падения в спектре пропускания гетероструктур соответствующие минимумы смещаются в коротковолновую сторону, не перекрываясь даже для больших углов (45-50⁰), что свидетельствует о хорошей кристаллической структуре пленок. Электронно-микроскопический анализ слоистых гетероструктур опала показывает одинаково ориентированные (без доменов) гексагонально упакованные слои монодисперсных наносфер кремнезёма с плоскостью (111), параллельной подложке, как первой, так и во второй пленках. Пленки в гетероструктуре однородны по толщине. По мере увеличения

числа ФК пленок в гетероструктуре опала происходит модификация спектра отражения пленочной гетероструктуры и стоп-зоны испытывают отчетливую модуляцию, т.е. появляются разрешенные фотонные состояния.

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

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВЕРМИКУЛИТА

А. Ю. Вшивков, Г. Е. Нагибин
Сибирский федеральный университет
Институт инженерной физики и радиоэлектроники

В настоящее время на предприятиях алюминиевой промышленности для изготовления футеровки литейно-распределительных систем применяются материалы на основе асбеста. Назрела необходимость замены этих материалов и исключения их из производства из-за канцерогенных свойств асбеста. Это особенно актуально для предприятий-экспортеров своей продукции, в связи с тем, что санитарные нормы ряда стран, импортирующих алюминий, запрещают закупку металла со следами асбеста, и к нарушителям таких требований применяются жесткие санкции.

В качестве футеровочных материалов, не содержащих асбест, в настоящее время широко предлагаются керамические изделия на основе силиката кальция, в том числе и армированного волокнами различных составов [1]. Широкое применение в производстве цветных металлов находят также различные виды волокнистых материалов на основе волокон алюмосиликатного состава, стекловолокна, углеродного волокна и др.[2].

Предлагаемые материалы и технология их изготовления имеют свои достоинства и недостатки. Спрос на них определяется, прежде всего, качеством, ресурсом работы, и что немаловажно, также их стоимостью.

В данной работе излагаются результаты физико-технических исследований, выполненные с природным материалом – вермикулитом, [3] который начинает использоваться в качестве теплоизоляционного материала, соответствующим требованиям санитарных норм.

1. Демиденко Н.И. и др. Волластонит - новый вид природного сырья // Стекло и керамика. 2001. №9 С.15-18.

2. Огнеупорные, волокнистые теплоизоляционные материалы. Обзорная информация. УкрНИИ НТИ. Серия: Производство и применение новых материалов и продуктов в промышленности, вып.5, 1990.

3. Дубенецкий, К. Н. Вермикулит, свойства и применение. Л.: Изд-во литературы по строительству, 1971. С. 41-71.

Научный руководитель – канд. техн. наук, проф. М. М. Колосова.

ЭПР ДОНОРНОГО АЗОТА В УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ АЛМАЗАХ

В.В. Голушко

Институт неорганической химии СО РАН им. А.В. Николаева,
Новосибирский государственный университет

Наноразмерные материалы отличаются по своим свойствам от объемных образцов вследствие большого вклада поверхности. Ультрадисперсные алмазы (УДА), получаемые импульсным созданием Р,Т- условий (взрывом) для перехода углерода в алмазную структуру, имеют размеры уровня нанометров из-за короткого времени алмазообразования. Ранее никому не удалось зафиксировать спектр ЭПР донорного азота в УДА несмотря на его высокое содержание в среде, в которой проходила кристаллизация алмаза. Проведенные нами ранее исследования по влиянию концентрации примесного азота в алмазе на спектры ЭПР показали, что уже при 1600 ppm разрешенный спектр с СТС от атома азота преобразуется в одну линию, которая сужается по мере увеличения концентрации примесного азота. Разложение этой линии показало, что она является суперпозицией трех одиночных линий с шириной линий 8.5, 15.3 и 3.3 Гс с g-факторами 2.008, 2.0085 и 2.008 соответственно. При вычитании двух компонент спектра наряду с узкой линией с шириной линии 3.3 Гс наблюдается спектр ЭПР от разрешенной СТС донорного азота в алмазе. Используя зависимость ширины обменной линии в спектрах ЭПР от концентрации донорного азота, можно оценить локальную концентрацию азота в областях, обуславливающих появление компонент спектра ЭПР с ширинами линий 8.5 и 15.3 Гс (соответственно, 3500 и 2400 ppm). Поэтапный отжиг УДА в вакууме показал, что наблюдаемые компоненты спектра ЭПР обусловлены не поверхностными,

а объемными дефектами. Области, в которых проявляются наблюдаемые компоненты спектра, разнесены по объему, что хорошо описывается моделью перераспределения примеси азота при ее движении за зоной кристаллизации. Появление узкой линии с формой Дайсона от электронов проводимости вместо широких компонент спектра ЭПР позволяет наблюдать СТС от донорного азота в алмазе без дополнительных вычитаний компонент спектра. Оценки локальной концентрации донорного азота с разрешенной СТС дают величину 500 ppm. Таким образом, проведенные исследования впервые позволили доказать существование парамагнитного замещающего азота в структуре ультрадисперсных алмазов.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО – ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЛЁНКА – ПОДЛОЖКА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

Т. С. Грекова

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского

В работе [1] приведены результаты исследования структурно - фазовых превращений, элементного состава и формирования наноразмерных интерметаллидных соединений в никеле при воздействии высокоинтенсивным пучком ионов титана ускорителя "Радуга-5", отличительная особенность которого связана с возможностью формирования непрерывного или импульсно - периодического пучка частиц с энергией до 120 кэВ. Ионная имплантация приводит к формированию в поверхностном слое мишени нанокристаллических фаз Ni_3Ti , $NiTi$, $NiTi_2$ и твёрдого раствора титана в никеле, а также к проникновению легируемой примеси на аномально большие глубины, значительно превышающие проективный пробег ионов с энергией 120 кэВ в исследуемом материале. Поверхностные ионно - легируемые слои никеля обладают существенно лучшими физико - механическими характеристиками. В данной же работе приводятся результаты исследования структурно - фазовых превращений и механических свойств системы плёнка (Ti) - подложка (Ni), облучённой мощным протон-углеродным пучком ($30\%H^+$ и $70\%C^+$) ускорителя "Темп" с энергией 300 кэВ и длительностью импульса 50 нс. В экспериментах варьировалась средняя плотность тока и число импульсов облучения. Рентгенофазовый

анализ облучённой системы выполнен с помощью дифрактометра "Дрон-3М"; морфологию поверхности исследовали методом оптической микроскопии на микроскопах "Neophot-2" и атомно - силовом микроскопе, измерение микротвёрдости проводилось на ПМТ-3. Результаты сопоставляются с полученными в работе [1]. Установлено, что для облучённых образцов, так же как и в [1], наблюдается увеличение микротвёрдости по сравнению с исходным материалом. В работе также приводится интерпретация массопереноса в режиме ионной имплантации с учётом вкладов радиационно - стимулированной и термической диффузии. Указанные механизмы вместе с полиэнергетическим характером ионного пучка при теоретическом анализе позволяют описать основные наблюдаемые закономерности.

1. И. А. Курзина, И. А. Божко, М. П. Калашников и др.//Изв. вузов. Физика. – 2006. – №8. Приложение. – С. 211 – 214

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

ПОСТУПАТЕЛЬНАЯ ПОДВИЖНОСТЬ ВОДЫ И СПИРТОВ В АДСОРБЕНТАХ «СОЛЬ В ПОРИСТОЙ МАТРИЦЕ»

А.В. Дзюба

Новосибирский государственный университет

Сорбенты воды (Селективные Сорбенты Воды, ССВ) являются новым семейством композиционных материалов. Это двухфазные системы: пористые матрицы (силикагели, пористые угли, природные глины и т.п.) заполненные гигроскопическими неорганическими солями (галогениды, сульфаты, нитраты щелочных и щелочноземельных металлов). Сорбционная емкость таких нанокомпозитов в несколько раз превышает соответствующие показатели для промышленных аналогов. Этот факт, наравне с невысокой температурой регенерации, делает их перспективными для многочисленных приложений (в химических тепловых насосах, системах запасаения низкотемпературного тепла, осушке газов и пр.). Диффузионные ЯМР методики (такие как PFG, PGSE и DOSY) предоставляют возможность получения важнейших кинетических и структурных данных об этих соединениях на размерах порядка единиц нанометров.

Образцы с различным массовым содержанием соли (от 5.5% до 45%) показали, как происходит распределение ее в матрице. Оказалось,

что даже при небольшом количестве внесенной соли некоторые важные транспортные пути оказываются блокированными, и дальнейшее увеличение количества соли практически не влияет на транспорт. Также стало ясно, что тип матрицы влияет на возможность массопереноса, что может быть связано как с небольшим отличием среднего размера пор (порядка 5 нм), так и с различием в строении поверхности. Исследование матриц с распределением по размерам пор (от 15 нм до 6 нм) помогло понять, какие механизмы влияют на диффузию воды. Известно, что вода образует кристаллогидраты, и в таких системах это может существенно влиять на массоперенос. СВС заполнялись водой и метанолом. Было выяснено, что на диффузию оказывает влияние только разность в размере молекул метанола и воды, а эффектов присутствия кристаллогидратов не обнаружено.

Научный руководитель – д-р хим. наук О.Б. Лапина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОНАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ TiNi, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИМПУЛЬСНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

Е. В. Егоренкова

Томский государственный университет

В настоящее время никелид титана является широко востребованным материалом для медицины, применяется в качестве изготовления имплантатов различного назначения: соединительные пластины – в ортопедии, стоматологические штифты, стенты – в сосудистой хирургии, скобы, скрепки и т.д. Известно, что поверхностные слои этого материала, модифицированные электронными импульсными пучками обладают наиболее высокой коррозионной стойкостью. При этом его объемные свойства – сверхэластичность и эффект памяти формы сохраняются и даже, в определенных условиях – повышаются. Несмотря на это требования к поверхности изделий из этого материала остаются очень высокими.

Влияние электронно-лучевого воздействия на материал приводит к формированию быстрозакаленного поверхностного слоя и градиентного переходного слоя, общая толщина и состояние которых может зависеть как от параметров воздействия, так и от состояния исходного материала. Установлено, что в приповерхностной области создаётся градиентное по глубине напряжённое состояние материала, для изучения которого хорошо

подходит рентгенодифракционный метод с использованием асимметричных схем съёмок дифрактограмм.

Результаты исследований исходного и обработанного НСЭП образцов показали, что на облученной поверхности сформирован модифицированный слой материала, в котором сохранилась сингония В2 исходной фазы, но изменилась её текстура, а также, что величины межплоскостных расстояний d_{hkl} решетки В2-структуры в этом слое, измеренные в направлении нормали к поверхности образца, уменьшились по сравнению со своим исходным значением, а измеренные в направлениях плоскости поверхности – увеличились. Кроме этого, удалось получить максимальное значение деформации в поверхностном слое и его усреднённую величину по глубине. Уровень величины деформации кристаллической решетки определяет величину напряжений 1-го рода сопоставимую с пределом мартенситного сдвига и пределом текучести для подобных материалов.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. Л. Л. Мейснер, канд. физ.-мат. наук, доцент Ю. П. Миронов.

СВЕРХЭЛАСТИЧНОСТЬ И ЭПФ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА В СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ

Д. Ю. Жапова

Институт физики прочности материалов СО РАН
Томский государственный университет

Сплавы на основе никелида титана, широко применяющиеся в медицине должны сочетать в себе высокие прочностные и функциональные (эффект памяти формы (ЭПФ) и сверхэластичность) свойства. Исследования сплавов на основе TiNi показали, что ресурс повышения их свойств традиционными методами в значительной мере исчерпан[1]. Это стимулирует разработку методов интенсивной пластической деформации, позволяющих получать объёмные беспористые сплавы в субмикроструктурном (СМК) состоянии.

В работе проведены экспериментальные исследования ЭПФ и сверхэластичности эквиатного TiNi и сплава $Ti_{49,8}Ni_{50,2}$ (ат.%) в СМК состоянии. При охлаждении и нагреве в сплаве $Ti_{49,8}Ni_{50,2}$ (ат.%) реализуется мартенситное превращение (МП) $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19'$, а в TiNi – $B2 \rightarrow R \rightarrow B19' \rightarrow B19' \rightarrow B2$, где B2, R, B19' – кубическая фаза,

ромбоэдрическая и моноклинная мартенситные фазы, соответственно. Циклы “нагрузка-разгрузка” проводили при 295 К с последующим нагревом разгруженных образцов.

Показано, что в эквиатомном TiNi с СМК состоянием при внешних напряжениях менее 420 МПа сверхэластичность выражена слабо ($\gamma_{св} \leq 2,3\%$). Величина однократного эффекта памяти формы достигает 9,8%. После нагружения до 420 МПа и разгрузки в последующих циклах “охлаждение-нагрев” обнаружен обратимый ЭПФ.

В СМК сплаве $Ti_{49,8}Ni_{50,2}$ (ат.%) максимум (10,8%) проявления сверхэластичности при нагружении и разгрузке достигается при τ вблизи 260 МПа. В интервале внешних напряжений от 260 до 380 МПа эффект сверхэластичности деградирует, но при этом наблюдается увеличение однократного ЭПФ в процессе последующего нагрева разгруженных образцов. Накапливаемая пластическая компонента остаточной деформации в сплаве $Ti_{49,8}Ni_{50,2}$ (ат.%) почти в 5 раз меньше, чем в эквиатомном TiNi.

1. В.Н. Журавлев, В.Г. Пушин. Сплавы с термомеханической памятью и их применение в медицине. Екатеринбург. УрО РАН. 150с (2000).

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

ХАРАКТЕР СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ С ТЕМПЕРАТУРОЙ ПЕРОВСКИТОВ СОСТАВА $SrCo_{0,8-x}Fe_{0,2}Nb_xO_{3-\delta}$ ($x=0.1-0.3$)

М.Г. Иванов

Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Материалы, обладающие смешанной электронно-ионной (кислородной) проводимостью, могут быть использованы для получения атомарного кислорода, который, в свою очередь, находит широкое применение как чрезвычайно активный окислитель, в том числе и в топливных элементах. Одним из таких материалов является соединение состава $SrCo_{0,8-x}Fe_{0,2}Nb_xO_{3-\delta}$ ($x=0.1-0.3$) со структурой перовскита и статистически распределенными вакансиями в анионной подрешетке, обеспечивающими кислородную проводимость. Мембраны, изготовленные из такого материала, позволили бы получать атомарный кислород при условии температурной стабильности структуры на воздухе и в вакууме, а также механической прочности мембраны.

Целью данной работы являлось определение методом рентгеноструктурного анализа характера структурных изменений с температурой материалов состава $\text{SrCo}_{0,8-x}\text{Fe}_{0,2}\text{Nb}_x\text{O}_{3-\delta}$ с различным содержанием ниобия. Выполнены эксперименты по исследованию массивных образцов с $x = 0,1, 0,2$ и $0,3$ (далее образцы 1, 2 и 3, соответственно) в интервале температур $20 \div 1000^\circ\text{C}$ на воздухе и в вакууме.

Образцы 1 и 3 продемонстрировали нестабильность структуры с температурой, выражающуюся в расщеплении отдельных рефлексов, что говорит о деформации решетки. Для образца 2 во всем исследуемом интервале температур зафиксирована кубическая фаза перовскита. Важной особенностью является близость параметров элементарной ячейки в интервале рабочих температур на воздухе и вакууме.

Из высокотемпературных рентгеновских данных в вакууме установлено, что наличие кислородных вакансий приводит к увеличению параметра элементарной ячейки. Произведено экспериментальное выделение различных вкладов в термическое расширение для образца 2, связанных с тепловыми колебаниями атомов в структуре и дефицитом по кислороду. Исходя из этих данных, сделано предположение, что выход кислорода из структуры начинается при температурах выше 300°C .

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

МОЛЕКУЛЯРНО ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ АТОМОВ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ НА ПОДЛОЖКУ

А. М. Игошкин

Институт теоретической и прикладной механики

им. С. А. Христиановича СО РАН

Новосибирский государственный университет

В настоящее время в нанотехнологиях одной из наиболее важных задач является задача осаждения тонких (10-100 нм) пленок из газообразной фазы. Современные технические приложения предъявляют повышенные требования к параметрам осаждаемых слоев, в частности, к концентрации дефектов в кристаллической структуре и шероховатости получаемых нанопленок.

Важность данной задачи для современной техники обуславливает обилие экспериментальных работ, посвященных ей. Однако, современные

экспериментальные исследования не нашли универсального рецепта формирования нанопленок, удовлетворяющих вышеперечисленным требованиям. В то же время создано множество теоретических подходов, направленных на исследования процесса осаждения тонких пленок. Самым фундаментальным после прямых квантовых расчетов среди них является метод молекулярной динамики. Сложность применения экспериментальных подходов и обусловила необходимость именно теоретических исследования данной задачи.

В настоящей работе методом молекулярной динамики проведено численное моделирование физического осаждения меди из газообразной фазы на медную подложку. Для описания межатомных взаимодействий использовался многочастичный потенциал Воутера. Показано, что в процессе осаждения «медь на медь» формируется тонкая пленка с идеальной ГЦК структурой.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент И. Ф. Головнев.

ФОКУСИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ЗЕРКАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА С ГЕКСАПОЛЬНО-ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

Ж. Т. Камбарова, Б. Кутум

Карагандинский государственный университет им.Е.А. Букетова

В электронной оптике основой большинства фокусирующих элементов являются аксиально-симметричные электростатические и магнитные поля. Приборы, которые используются в электронной спектроскопии, ориентированы на зеркальную осесимметричную оптику, которая обладает высокой светосилой в сочетании с высокими показателями разрешения по энергии и чувствительностью.

Цель данной работы заключается в рассмотрении гексапольно-цилиндрического поля для различных вкладов цилиндрического поля и кругового гексаполя, в необходимости рассчитать и построить эквипотенциальные портреты соответствующих полей и провести анализ полученных схем.

В данной работе предлагается траекторный расчет и анализ электронно-оптических характеристик электростатического гексапольно-цилиндрического поля, построенного на основе суперпозиции полей цилиндрического зеркала и кругового гексаполя

$$U(r, z) = \mu \ln r + \gamma U_n(r, z),$$

где $U_h(r, z) = \frac{1}{2} \left\{ Lnr \left[z^2 - \frac{1}{2} r^2 - \frac{1}{2} \right] + \frac{1}{2} r^2 - \frac{1}{2} \right\}$ - круговой гексаполь, μ - коэффициент, задающий весовой вклад цилиндрического поля Lnr , γ - весовая составляющая кругового гексаполя.

Рассчитаны электронно-оптические параметры энергоанализатора гексапольно-цилиндрического поля для $\mu=5/2$, $\gamma=1$

$$U(r, z) = \frac{5}{2} Lnr + U_h(r, z).$$

Анализ расчетных данных для данной схемы показывает, что в зеркальном энергоанализаторе на основе гексапольно-цилиндрического поля в широком интервале значений параметра отражения P и входного угла α_0 осуществляется режим угловой фокусировки второго порядка, если источник и его изображение находятся в области внутреннего цилиндрического электрода.

Таким образом, можно сделать вывод, что зеркальный энергоанализатор, созданный на основе гексапольно-цилиндрического поля, может работать в режиме высокого разрешения и высокой светосилы, обеспечиваемой возможностью фокусировки широких пучков в аксиальной плоскости.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А.О. Саулебеков.

РАСЧЁТ ТЕПЛОЁМКОСТИ В ЧЕТЫРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ОДНИМ СКРЫТЫМ ИЗМЕРЕНИЕМ

А. А. Корепанов

Омский государственный университет

Различными теориями струн предсказывается большое число измерений пространства – времени, от десяти (суперструнные теории) до двадцати шести (теория бозонных струн). Дополнительные измерения оказываются ненаблюдаемыми благодаря компактификации, то есть замыканию их на себя на очень малых расстояниях, на которых они не могут быть обнаружены в экспериментах.

Ограничиваясь предположением, что в пространстве имеется три обычные координаты и одна свёрнутая, получим, что частица может двигаться в трёх измерениях привычным образом, а в четвертом, из-за локальной неоднородности, её энергетический спектр окажется квантованным. Необходимо выяснить, как такая топология пространства

отразится на макроскопических параметрах конкретных систем. Для этого исследуем зависимость теплоёмкости от температуры, исходя из статистических распределений [1,2]. Проще исследовать зависимость теплоёмкости при постоянном объёме, так как в этом случае зависимость от энергии газа более простая. Учитывая наличие дополнительного измерения, выражение для энергии частицы модифицируется слагаемым, отвечающим уравнению Шрёдингера для движения частицы в этом измерении:

$$\varepsilon = \frac{p^2}{2m} + \frac{4\pi\hbar^2 k^2}{2ml^2}$$

Таким образом, следует ожидать, что теплоёмкость газа, состоящего из данных частиц, выйдет на асимптотику не плавно, на графике должны быть особенности, отражающие нетривиальную топологию пространства.

В работе рассматривается зависимость теплоёмкости бозе-газа и ферми-газа в зависимости от температуры. Найден вклад скрытого измерения, которое оказывает влияние на зависимость теплоёмкости от температуры и проявляется не только при высоких температурах, но и при низких.

1. В. В. Михеев, Метод орбит в задачах квантовой статистической механики и интегрирование квантовых уравнений на группах Ли, диссертация, Омск, 2002.

2. Н. Харт, Геометрическое квантование в действии, М.: Мир 1985

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

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО РАЗМЕРАМ ЭЛЕМЕНТОВ СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6

А. Ю. Манжула

Томский государственный университет

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Для развития современной техники требуется создание новых материалов, обладающих оптимальным сочетанием различных физических и механических свойств. В связи с этим в последнее время все большее внимание исследователей привлекают материалы с

субмикроструктурной (СМК) структурой. Известен целый ряд методов, позволяющих получать СМК структуру в металлических материалах. В частности, к таким методам можно отнести интенсивную пластическую деформацию (ИПД). Однако для каждого конкретного сплава необходимо экспериментально подбирать оптимальные режимы обработки. Следует заметить, что при исследовании механических свойств материалов с СМК структурой не всегда проверяется степень однородности микроструктуры, что сильно затрудняет оценку влияния размеров зерен на свойства получаемых материалов. Таким образом, исследование закономерностей формирования СМК структуры при ИПД и механических свойств таких материалов представляется актуальным.

В связи с изложенным в работе были проведены исследования влияния ИПД методом всестороннего прессования на структуру и механические свойства титанового сплава ВТ6. Установлено, что формирование при всестороннем прессовании в сплаве однородной СМК структуры приводит к увеличению пределов прочности и текучести исследуемого сплава при комнатной температуре примерно на 45% по сравнению с исходным (крупнозернистым) состоянием. Также наблюдается существенное уменьшение температуры начала проявления сверхпластических свойств сплава (примерно на 200 градусов). Показано, что в зависимости от режима прессования в сплаве может формироваться и неоднородная СМК структура. Однако, несмотря на то, что относительная объемная доля единичных достаточно крупных (1-1,5 мкм) зерен не превышает 10-15%, наблюдается заметное ухудшение механических свойств исследуемых образцов (до 10% от анализируемой величины). Температуры начала реализации сверхпластических свойств сплава увеличивается примерно на 50 градусов по сравнению с соответствующей для образцов с однородной СМК структурой.

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

ЭПР ИОНОВ Cr^{3+} $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}][\text{PdCl}_4]$, $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}][\text{PtCl}_4]$ И $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}][\text{PdCl}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$ – ПРЕКУРСОРОВ НАНОРАЗМЕРНЫХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Н.А. Небогатикова, Е.П. Плюснин

Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН
Новосибирский государственный университет

В данной работе проведены исследования методом ЭПР биметаллических солей палладия и платины $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}][\text{PdCl}_4]$, $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}][\text{PtCl}_4]$ и $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}][\text{PdCl}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$, содержащих в катионной части ионы Cr^{3+} . Известно, что соединения ряда $[\text{M}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}][\text{PtCl}_4]$ и $[\text{M}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}][\text{PdCl}_4]$, где $\text{M} = \text{Cr}, \text{Co}, \text{Rh}, \text{Ru}$ изоструктурны и являются прекурсорами для получения наноразмерных биметаллических катализаторов. Вместе с тем в отличие от солей палладия соли платины не обнаруживают соединений с включением кристаллической воды. Используя в качестве парамагнитного зонда ионы Cr^{3+} мы попытались проанализировать особенности структуры для бинарной соли палладия, содержащей кристаллическую воду и безводных солей платины и палладия.

Спектры ЭПР снимались на модифицированном спектрометре E-109 фирмы Varian в Q-диапазоне при 300 К.

Поскольку исследуемые соли являются магнитоцентрированными и дают в спектрах ЭПР одиночную обменную линию, нами исследовались образцы, представляющие собой твердые растворы солей $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}][\text{PtCl}_4]$, $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}][\text{PdCl}_4]$, $[\text{Rh}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}][\text{PtCl}_4]$ и $[\text{Rh}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}][\text{PtCl}_4]$. Соли родия и хрома имеют одинаковую симметрию и параметры решетки и образуют непрерывный ряд состава от 100% Cr до 100% Rh. В качестве объектов исследования использовались образцы, содержащие в катионной части 5 % Cr и 95% Rh.

Проведенные исследования методом ЭПР показали, что ионы Cr^{3+} в водной соли палладия имеют $S = 3/2$ и спектр ЭПР описывается параметрами $g_x = 1.984$, $g_y = 1.984$, $g_z = 1.984$, $D = 1060$ Гаусс, $E = 260$ Гаусс.

Для безводных солей Pt и Pd Ионы Cr^{3+} имеют близкие параметры спин-гамильтониана. Для Pt: $S = 3/2$, $g_1 = 1.990$, $g_2 = 1.990$, $g_3 = 2.0032$, $D = 1660$ Гаусс, $E = 260$ Гаусс, для Pd: $S = 3/2$, $g_x = 1.991$, $g_y = 1.991$, $g_z = 1.993$, $D = 1660$, $E = 267$. Небольшие отличия, по-видимому, обусловлены наличием компонент газовой фазы для солей Pd, в которой проводился отжиг водных солей палладия

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

ЭПР ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХЯДЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ МАРГАНЦА $Mn_3(C_{12}H_6O_4)_3(C_3NOH_7)_4$

Н.А. Небогатикова, Е.П. Плюснин
Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН
Новосибирский государственный университет

ЭПР полиядерных комплексов ионов переходных металлов является довольно редким случаем в практике и наиболее сложным в интерпретации. И хотя теория построения обобщающего спин-гамильтониана из спин-гамильтонианов отдельных ионов хорошо прописана, всегда остаются вопросы, связанные со знаком и величиной обменных взаимодействий и интерпретации экспериментальных значений начальных расщеплений в спектрах ЭПР.

В данной работе приведены результаты комплексного исследования соединений $Mn_3(C_{12}H_6O_4)_3(C_3NOH_7)_4$ методами ЭПР, магнитной восприимчивости и рентгеноструктурного анализа.

Из данных магнитной восприимчивости следует, что обменное взаимодействие в интервале температур 4-300 К носит ферромагнитный характер и величина обменного взаимодействия равна $J = -1.88 \text{ cm}^{-1}$.

В соответствии с теорией в этом случае в зависимости от конфигурации тримера ионов Mn и может иметь место основное состояние со спином $S = 5/2$ (линейная конфигурация), либо $S = 3/2$ (нелинейная конфигурация).

Согласно рентгеноструктурным данным структура комплекса несколько отличается от линейной, тупой угол при вершине треугольника, образованного ионами Mn составляет 172° .

Исследования угловой зависимости спектров для монокристалла $Mn_3(C_{12}H_6O_4)_3(C_3NOH_7)_4$ показали, что при комнатной температуре спектр ЭПР описывается гамильтонианом для случая $S = 3/2$ и параметрами $g=2.0$, $D = 820 \text{ Гаусс}$, $E = 208 \text{ Гаусс}$.

Отличия экспериментальных значений от D и E от расчетных из модели диполь-дипольного взаимодействия точечных зарядов обусловлено наличием начальных расщеплений для каждого иона марганца из-за низкой симметрии их ближайшего окружения

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОПЛОНОК МЕДИ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

М.А. Неклюдова, С.В. Ти
Новосибирский государственный университет

В последнее время много внимания уделено изучению тонких металлических пленок, использующихся для целей нанозлектроники. Среди различных методов напыления следует особо выделить магнетронно-распылительные системы (МРС), позволяющие получать сплошные плотные металлические покрытия [1]. Б.С. Данилиным и В.К. Сырчиным описаны подобные пленки меди, никеля, тантала, оптические свойства и качество нанопленок [2]. В настоящее время МРС применяются для получения нанопленок и используются в нанотехнологиях [3,4].

Цель работы — исследование вольт-амперных характеристик (ВАХ) цилиндрической МРС, морфологии пленок растровым электронным микроскопом, оптических свойств методами эллипсометрии (ЛЭФ-3М1, ЛЭФ-752), структурно-фазового состава ИК- и КР-спектроскопией.

Исследованы характеристики магнетронных распылительных систем такие, как: напряжение на электродах, ток разряда, плотность тока на мишени и удельная мощность и рабочее давление.

Получены ВАХ цилиндрической МРС при различных давлениях аргона. Установлены рабочие характеристики по напряжению (350-500 В), пот токам (до 1 А). Диапазон давления от 10^{-2} до 10^{-4} торг. Получены пленки до 1000 Å.

1. Данилин Б. С., Неволин В. К., Сырчин В. К. Исследование магнетронных систем ионного распыления материалов. – Электронная техника. Сер. Микроэлектроника, 1977, вып. 3 (69), с. 37 – 44.

2. Данилин Б. С., Сырчин В. К. Магнетронные распылительные системы. –М.: Радио и связь, 1982.

3. П.В. Каштанов, Б.М. Смирнов, Р. Хипплер. Магнетронная плазма и нанотехнологии – Успехи физических наук, май 2007, том 1776 №5, с. 473.

4. Э.М. Шер, В.М. Микушкин, С.Е. Сысоев, Б.Т. Мелех. Роль ускоренного атомарного кислорода в формировании CuO пленок методом магнетронного распыления. ЖТФ, 2000, т. 70, вып 3.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ПОРИСТОЙ НАНОСТРУКТУРНОЙ КЕРАМИКИ ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ НАГРУЗКАХ

Е.Г. Пасько, А.А. Козулин
Томский государственный университет

В настоящей работе рассмотрены различные типы структуры пористости наноструктурной керамики, которые формируются при различных режимах спекания кристаллических прессовок и приводят к различным вариациям физико-механических свойств. Представлены три характерные структуры пористости: с расположением пор в зоне тройных стыков зерен, на стыках и границах зерен, на границах и внутри рекристаллизованного зерна. Моделировалось ударно-волновое нагружение при различных амплитудах импульса. Результаты получены численно с использованием конечно-разностного метода по расчетной схеме Неймана-Рихтмайера. Нелинейное поведение керамического материала за пределом текучести описывается в рамках модели Джонсона-Хоумквиста. Проведены исследования влияния структуры пористости на деформирование керамики под действием плоских ударных волн.

В результате работы была разработана модель механического поведения пористой наноструктурной керамики, позволяющая изучать процессы деформирования и повреждения при импульсных нагрузках. Обнаружено, что распределение массовой скорости во фронте ударной волны отклоняется от нормального и образует бимодальное распределение, что является следствием образования новых мод деформации в процессе импульсного нагружения деформируемой керамики, представляющей открытую термодинамическую систему. Также было выявлено, что предел упругости Гюгонио зависит не только от интегрального соотношения пористости, но и от соотношения размеров пор и размеров зерна. Исследовано влияние распределения пор на механизмы разрушения керамики. Полученные результаты показывают, что концентрация пор в области границ зерна вызывает снижение сдвиговой прочности. Наличие пор внутри рекристаллизованного зерна делает возможным процесс его неупругого деформирования.

1. Скрипняк Е.Г., Жукова Т.В., Скрипняк В.А., Чахлов С.В. Динамика ударных волн в хрупкой конструкционной керамике с повреждениями структуры. В сб.: Физика экстремальных состояний вещества – 2004., Ред. Фортов В.Е., Ефремов В.П. и др. Черноголовка, 2004. С. 77 – 79.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. Скрипняк.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБРАЗЕЦ ОКСИДНОЙ СТРУКТУРИРОВАННОЙ КЕРАМИКИ

А.И. Пилипенко, А.А. Козулин
Томский государственный университет

Целью представленной работы является постановка задачи о динамическом высокоскоростном нагружении элемента структурированной поликристаллической оксид-алюминиевой керамики. На мезоскопическом уровне моделируется нагружение структурированного образца Al_2O_3 керамики плоской ударной волной. Процесс формирования высокоскоростного напряжённо-деформированного состояния поликристаллической керамики – это цепь сложных физических явлений, проявляющихся на различных масштабных уровнях. Одной из составляющих этого процесса является неоднородное распределение напряжённостей в материале вследствие неоднородности его компонентов, в нашем случае имеются в виду границы и сами зёрна поликристаллической керамики. С использованием экспериментальных данных о структуре поликристаллической оксид-алюминиевой керамики создана модель, учитывающая отличие физико-механических свойств зернограничных и внутрикристаллических фаз. С использованием экспериментальных данных о структуре поликристаллической керамики создан модельный образец, учитывающий специфику физико-механических свойств материала. Структура модельного образца образована зёрнами альфа фазы Al_2O_3 разделёнными слоями зернограничной фазы. На верхнюю границу образца воздействует плоская ударная волна. Величина массовой скорости ударной волны составляет ~ 300 м/с. Боковые грани моделируются как свободные для проникновения, нижняя грань закреплена неподвижно.

Моделирование процессов деформации оксидной структурированной керамики при динамических нагружениях позволяет исследовать вероятные механизмы структурных превращений, которые влияют на физико-механические свойства материалов. С помощью предложенной модели распространения плоских волн нагружения в образце структурированной среды появляется возможность оценки напряжения течения, компонент массовой скорости, скорости фронта волны нагружения. Полученные результаты являются предварительными, но позволяют говорить о существенном влиянии мезоскопической структуры материала на степень неоднородности поля напряжений при динамическом нагружении оксид-алюминиевой керамики.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. Скрипняк.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ FeCo

А. Н. Попова

Кемеровский государственный университет
Кемеровский филиал института химии твердого тела и механохимии
СО РАН

Цель работы: определение фазового состава взаимной системы металлов железо-кобальт.

Объектами исследования были выбраны порошки системы железо-кобальт нанометрового диапазона. Порошки получали методом совместного восстановления из раствора солей металлов. Состав образцов варьировался при синтезе (с шагом 1%) и задавался процентным отношением $Fe_{100-x}Co_x$, где $x \leq 100\%$.

В настоящей работе использовался метод порошка в рентгеноструктурном анализе для определения параметров кристаллической решётки и уточнения структуры.

Порошки с содержанием железа в пределах от 65 до 100% окислялись при синтезе, поэтому данная область в этой работе не рассматривается, что представляет автору последующее изучение способов стабилизации и свойств порошков данной системы заданного состава. Т.о. в работе рассматривались порошки состава $Fe_{100-x}Co_x$ ($40 \leq x \leq 100\%$).

Сопоставляя вычисленные межплоскостные расстояния с табличными и учитывая интенсивность, проводили качественный рентгенофазовый анализ, из результатов которого получены следующие характерные особенности.

1) Основной фазой для составов с содержанием железа от 25 до 60% является фаза с объёмноцентрированной кубической (ОЦК) решёткой (характерной для обычного железа), в состав которой входит кобальт.

2) Для составов с содержанием железа от 1 до 10% основной фазой становится метастабильная фаза с гранецентрированной кубической (ГЦК) решёткой, характерной для обычного кобальта.

3) Межплоскостные расстояния для обеих фаз равномерно увеличиваются по мере увеличения в образцах железа. Данный факт говорит о том, что возможно образование твёрдого раствора.

4) При содержании железа от 10 до 25% сосуществуют две фазы – «железная» объёмноцентрированная и кубическая «кобальтовая».

На основании межплоскостных расстояний для данных составов (при содержании железа от 1 до 60%) были оценены параметры решётки. Зависимость межплоскостных расстояний от состава оказывается линейной. Данный факт говорит о выполнении закона Вегарда.

Научный руководитель – д-р хим. наук, чл.-корр. РАН Ю. А. Захаров.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТА ДИЭЛЕКТРИК/НАНОЧАСТИЦА

О. В. Седельникова

Новосибирский государственный университет

Важной задачей материаловедения является разработка новых материалов, поглощающих электромагнитное излучение в широком спектральном диапазоне. Относительно недавно было установлено, что наноструктуры, введенные в диэлектрическую матрицу, представляют собой один из таких поглотителей. При этом наноструктуры благодаря возможности их модификации и трехмерной организации обладают широкими возможностями для варьирования свойств материалов. Целью настоящей работы является квантово-химическое исследование влияния структуры фуллеренов и лукович на величину статической поляризуемости и моделирование диэлектрической проницаемости композита диэлектрик/наночастицы.

Для исследования влияния дефектов углеродной сетки на статическую поляризуемость наночастиц (фуллеренов и углеродных лукович) использован полуэмпирический метод MNDO. Показано, что влияние топологических дефектов на поляризуемость сводится к изменению среднего размера молекул, найден коэффициент экранирования внутренней оболочки углеродной луковичи внешним фуллереном. Предложено простое классическое описание взаимодействия наночастиц с внешним электрическим полем, и показано удовлетворительное согласование классического и квантово-химического значений поляризуемости фуллеренов.

В приближении теории Максвелле-Гарнетта была вычислена зависимость диэлектрической проницаемости композита от объемной фракции наночастиц разной пористости.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук А. В. Окотруб, д-р хим. наук Л. Г. Булушева.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ Ti-6Al-4V-N В СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ

А. В. Созоева, Е.Н. Мельникова

Томский государственный университет

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

В литературе имеются сведения [1], что сопротивление водородному охрупчиванию металлических поликристаллов увеличивается с уменьшением размера зерен. В этой связи представляет интерес исследовать влияние легирования водородом на механические свойства субмикроструктурной (СМК) структуры.

Исследовали влияние водорода в количестве 0,005-0,33 мас.% на механические свойства сплавов Ti-6Al-4V-N в субмикроструктурном состоянии (средний размер зерен $d=0,27$ мкм). Испытания проводили в интервале температур 293-1023 К с начальной скоростью деформации $6,7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$.

Установлено, что при температурах ниже 873 К легирование водородом в пределах исследуемых концентраций незначительно влияет на величины предела прочности σ_B и предела текучести $\sigma_{0,2}$. В интервале температур 923-1023 К увеличение концентрации водорода в СМК сплаве от 0,005 до 0,33 мас.% приводит к росту значений σ_B и $\sigma_{0,2}$ в 2-3 раза. Например, при температуре 923 К значение $\sigma_{0,2}$ для сплавов Ti-6Al-4V-0,005Н, Ti-6Al-4V-0,08Н и Ti-6Al-4V-0,33Н составляет соответственно 38, 71 и 128 МПа. Предполагается, что увеличение значений σ_B и $\sigma_{0,2}$ с повышением концентрации водорода в сплаве связано с увеличением прочности β фазы из-за растворения в ней водорода.

Температурная зависимость деформации до разрушения δ исследуемых субмикроструктурных сплавов Ti-6Al-4V-N имеет немонотонный характер. В интервале температур 293-773 К величина δ увеличивается с температурой от 7-13 до 60-110 % и слабо зависит от концентрации водорода в сплаве. При увеличении температуры до 1023 К вначале наблюдается резкое возрастание величины δ , а затем – снижение. При этом величина δ в интервале температур 873-1023 К тем выше, чем ниже концентрация водорода в сплаве. Показано, что в интервале температур 723-1023 К с увеличением концентрации водорода уменьшается устойчивость сплава Ti-6Al-4V-N к локализации деформации, что и приводит к уменьшению его пластичности.

1. Цвиккер У. Титан и его сплавы. Берлин – Нью-Йорк, 1974. Пер. с нем. М.: Металлургия, 1979, 512 с. с ил.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Г. П. Грабовецкая.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА БИОПОКРЫТИЙ, НАНЕСЕННЫХ МИКРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ

И. Ю. Тентилова

Томский государственный университет

Известно, что при нанесении кальций-фосфатных покрытий микродуговым методом к основным свойствам, определяющим их поведение в живом организме, можно отнести следующие: толщина покрытия, плотность и пористость, структура, фазовый состав, микротвердость, адгезионная прочность покрытия с основой и т.п. [1, 2]. Эти свойства зависят от 1) внешних факторов (компонентный состав, концентрация, рН и температура электролита; 2) режимов микродуговой обработки (полярность, частота, скважность, амплитуда и форма импульсов, напряжение, ток; время обработки и т.д.), и 3) внутренних факторов (состав сплава, его термообработка, шероховатость, пористость и т.д.).

В связи с этим, при разработке биосовместимых покрытий микродуговым методом необходимо контролировать их фазовый состав.

В работе были исследованы СА-Р покрытия при варьировании состава электролита:

- 20%Н₃Р₀₄+ГА (60г/л)+СаСО₃(90г/л)
- 20%Н₃Р₀₄+ГА (60г/л)+СаСО₃(150г/л)

Для формирования на поверхности титана биоактивных покрытий в состав электролита был введен гидроксилapatит, поскольку он является основной минеральной фазой костной ткани, а для повышения содержания кальция также – карбонат кальция. Расшифровка данной рентгенограммы указывает на то, что в этом случае в покрытии формируются пирофосфат титана TiP₂O₇, оксид TiO₂(anatase), оксид TiO, двойной фосфат титана-кальция CaTi₄(PO₄)₆, пирофосфат кальция β – Ca₂P₂O₇. Увеличение содержания карбоната кальция в электролите приводит к формированию в покрытии β-трикальцийфосфата Ca₃(PO₄)₂, который является «строительным материалом» для роста костной ткани и обуславливает osteoconductive свойства покрытия.

1. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И.В. Сумилов и др. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.

2. Шашкина Г.А., Шаркеев Ю.П., Колобов Ю.Р. Формирование биокерамических покрытий с высоким содержанием кальция на титане // Перспективные материалы. –2005. –№1. – С.41-46.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Е. В. Легостаева

РАСШИФРОВКА СТРУКТУРЫ ВПЕРВЫЕ ПОЛУЧЕННОГО МЕТАСТАБИЛЬНОГО ПОЛИМОРФА DL-ЦИСТЕИНА МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ И МОНОКРИСТАЛЬНОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ

Н.А. Туманов, В.С. Миньков

Новосибирский государственный университет
Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

Кристаллические аминокислоты являются биомиметиками и могут служить простыми моделями сложных супрамолекулярных систем, в частности пептидов. В кристаллах аминокислот бесконечные цепочки типа «голова к хвосту», построенные на водородных связях $N-H \cdots O$, имитируют полипептидные цепочки с пептидными связями, слои имитируют β -складки в белках. Кристаллические аминокислоты являются лекарственными препаратами, изучение которых представляется ценным для фармацевтической промышленности. Помимо своей биологической значимости кристаллы аминокислот обладают рядом не менее интересных физических свойств, которые позволяют рассматривать данные объекты как системы с сегнетоэлектрическими, пьезоэлектрическими, нелинейными оптическими свойствами.

DL-цистеин является первой рацемической аминокислотой, для которой обнаружены фазовые переходы не только при повышении давления, но и при таком слабом внешнем изотропном воздействии, как охлаждение. Ранее было описано, что при охлаждении DL-цистеин претерпевает обратимый фазовый переход с большим гистерезисом температуры и разрушением монокристалла. Причем сообщались противоречивые сведения о температуре фазового перехода, как при охлаждении, так и при нагревании.

В нашей работе было показано, что при медленном охлаждении фазовый переход происходит при 206 К с расщеплением монокристалла вдоль плоскости перпендикулярной кристаллографической оси c . Обратный переход происходит при 300 К. От разрушенного кристалла получены порошковые дифрактограммы, по которым впервые расшифрована структура низкотемпературной фазы DL-цистеина. По оригинальной методике впервые выращен монокристалл DL-цистеина в метастабильной форме, и по данным монокристалльной рентгеновской дифракции расшифрована его структура, которая совпала с ранее расшифрованной по данным порошковой рентгеновской дифракции.

Научный руководитель – д-р хим. наук, проф. Е. В. Болдырева.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ СВЕТОДИОДОВ

Е.В. Удальцов, Д.Ф. Скляр
Институт лазерной физики СО РАН

Ультрафиолетовая (УФ) область 250-400 нм весьма перспективна для систем оптической регистрации информации, построения систем атмосферной оптической связи. Проектирования различных датчиков за счет регистрации эффектов возникающих при взаимодействии УФ излучения с веществом или непосредственно с атмосферой и др.

Повсеместное использование этой области спектра до сих пор сдерживалось отсутствием эффективных и портативных излучателей, но с развитием полупроводниковой техники и её переходом в УФ диапазон в качестве источников излучения могут быть использованы полупроводниковые светодиоды.

При конструировании оптических систем часто возникает необходимость работы не только с интегральным потоком излучения, но и учитывать характер изменения его модовой структуры. Определение структуры пучка расчетным путем является сложной математической задачей со многими неизвестными, приблизительное решение которой сильно сказывается на чувствительности прибора, линейности его характеристики и ограничивает возможности его использования в неоднородных условиях.

В докладе описывается практическая реализация метода видеодиагностики в УФ диапазоне. Проведен анализ и спектральные измерения современных фотолюминесцентных материалов для экрана, с которого происходит считывание картины распределения интенсивности в сечении пучка. Определен спектр задач решаемых с помощью данного метода и пути их решения с использованием персонального компьютера. Показаны возможности метода на примере светодиодов ближнего УФ диапазона. Даны предпосылки реализации данной методики в автоматическом режиме. В дальнейшем планируется определить изменения, вносимые в пучок неоднородными оптическими средами и создание алгоритмов автоматического определения неоднородностей вызванных дефектами излучающего кристалла и колпака СИД.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. Б. В. Поллер.

МОНИТОРИНГ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

М. М. Филиппов

Якутский государственный университет имени М.К. Аммосова

В настоящее время в Якутии, как и в других регионах страны, наблюдается значительно повышение интенсивности и грузоподъемности транспортных средств, увеличение скорости движения, что требует применения кардинальных решений по обеспечению транспортно-эксплуатационного состояния дорог. В связи с этим, актуальность применения новых технологий для восстановления и усиления поверхностные слоев покрытий значительно выросла.

Наиболее распространенным дефектом улиц г. Якутска является наличие выбоин и ям на асфальтобетонных покрытиях, которые обычно ремонтируются только в летнее время с использованием горячего асфальтобетона.

Поиск способов модернизации существующих методов ремонта автомобильных дорог позволил разработать новую технологию, а именно, устройство поверхностного слоя или проведения ямного ремонта путем применения холодных смесей на основе битумной эмульсии с использованием струйно-инъекционной технологии. По этому методу ремонтные работы можно вести в условиях низких температур (минус 5 – минус 10⁰С).

В г. Якутске опытно-экспериментальным внедрением новой технологии занимается ООО «Ремсдор». За 2007 год предприятием выполнено работ по ремонту городских улиц общим объемом 1500-2000 кв.м. В 2008 году объемы работ запланированы на уровне 5000-6000 кв.м. В связи с этим для оценки эффективности новой технологии, впервые примененной в условиях Якутии, важное значение имеет выполнение мониторинга за состоянием отремонтированных объектов.

Студенческой исследовательской группой автодорожного факультета Якутского госуниверситета, проводившей работы по внедрению струйно-инъекционной технологии в производственных условиях на объектах ООО «Ремсдор», разработана методика наблюдения за состоянием ямочного ремонта.

Научная работа получила поддержку гранта Республики Саха (Якутия) имени академика В.П. Ларионова.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Г.Д. Федорова.

АНАЛИЗ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛИ GL-E36

В. В. Шаров

Восточно-Казахстанский государственный университет
им. С. Аманжолова

К ответственным сварным конструкциям из сталей предъявляются повышенные требования, выполнить которые зачастую удастся лишь при условии глубоких знаний структурно-фазового состояния сварного шва, а именно: морфологии α -фазы и состояния ее дефектной субструктуры; морфологии, размеров и объемной доли частиц карбидной фазы; изменения данных характеристик материала по мере удаления от центра шва. В соответствие с этим в настоящей работе проанализировано влияние сварки с двухструйной газовой защитой в смеси 82% аргона + 18% углекислоты электродом Union K52 на формирование структурно-фазового состояния стали GL-E36.

Сталь GL-E36 предназначена для судостроения. Образцы поставлены Магдебургским университетом (Германия) через Юргинский Технологический Институт Томского Политехнического университета (Россия).

Для сварного соединения стали GL-E36 четко прослеживается тенденция изменения вида структуры карбидной фазы (цементита) градиентным образом по мере приближения к металлу шва. Матрица, сталь GL-E36, характеризуется наличием крупных зерен феррита и колоний перлита пластинчатой морфологии по границам ферритных зерен. В переходной зоне пластинчатый перлит вырождается, и карбидная фаза формируется в виде частиц глобулярной формы. Далее, локализация глобул уменьшается, одновременно измельчаются зерна феррита. Для зоны нормализации характерна мелкодисперсная ферритная структура. Трудно сказать выродилась ли полностью карбидная фаза. Зона перегрева, по-видимому, имеет видманштеттовский феррит. Металл шва представлен зернами феррита.

Рентгеноструктурный анализ сварного соединения стали GL-E36 показал в матрице и металле шва наличие α -фазы с ОЦК-решеткой. Профили «дальних» дифракционных линий $(310)_\alpha$ матрицы и металла шва различаются. Расщепление $(310)_\alpha$ линии матрицы на дублет α_1 и α_2 лучше, чем линии металла шва. Это говорит о том, что в металле шва содержится больше искажений, его структура испытывает большие термические напряжения, высокотемпературный наклеп вследствие термического цикла сварки. Период элементарной ячейки матрицы и металла шва составляет 0,28686 и 0,28679 нм. соответственно.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. М.К. Скаков.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА МЕТОДОМ РФЭС

А.Л.Юдин, Н.А. Яцына, И.В.Токмаков, К.Н.Чехова
Кемеровский государственный университет

Методом РФЭС выполнено исследование химического состава золей серебра, восстановленных из ионов металла в растворе, до после адсорбции кислорода и термообработки. Согласно электронно-микроскопическим исследованиям средний размер серебряных частиц дисперсий варьировался от 500 до 800 Å. Порошки золей серебра подвергались адсорбции кислорода при атмосферном давлении, путем напуска газа в камеру подготовки спектрометра. Выявлены РФЭ-линии Ag 3d, Ag 4d, C 1s, O 1s и Оже-серии KLL для углерода и кислорода и серии MVV серебра, а также линии Na 1s и N 1s, отвечающие нитрогруппе NO₃. Установлено образование карбонильных и карбоксильных групп при адсорбции кислорода и термическом воздействии. Для исследованных частиц серебра наблюдались сдвиги основной 3d линии в сторону больших значений энергии связи, чем для массивного металла (368,2 эВ). По результатам экспериментов для энергии связи уровня 3d_{5/2} золей серебра в области размеров 50-80 нм можно принять значение равное 368,4 эВ. Был применен метод расчета химического сдвига для золей серебра относительно металла, основанный на комплексном учете изменения энергии связи 3d_{5/2}-уровня серебра, Оже-линии M_{5VV}, модифицированного α'-фактора Вагнера, распределения плотности 4d-состояний серебра, положения уровня Ферми относительно потолка валентной зоны и наличия релаксации в конечном состоянии. Показана возможность дифференцирования металлической и ионной фаз золей серебра с использованием анализа формы 3d и Оже-линий. Ширина 3d-линий серебряных золей превосходит ширину линий для нанесенных металлических частиц серебра и массивного металла. Таким образом, установлено отклонение электронных свойств золей серебра наноразмеров от свойств массивного металла. Идентифицирован химический состав поверхности наночастиц серебра и установлена природа хемосорбированного в диапазоне 300-570 К кислорода. Анализ сигнала O 1s в области 529-530 эВ позволяет утверждать об образовании на поверхности серебряных частиц (> 500 Å) молекулярно хемосорбированной формы кислорода O_{2,адс} с E_{св} 530 эВ. Нагрев до T = 370 К, а также переход нанесенным частицам серебра приводят к трансформации этой формы в атомарную форму кислороду O₂⁻ или O⁻ (E_{св} 529 эВ) с более ионным характером связи с атомами серебра.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, Л.В. Колесников.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ КАРТИН НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Д. А. Яценко

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Разработано программное обеспечение для моделирования дифракционных картин наноструктурированных систем. Были поставлены и выполнены следующие задачи: разработка алгоритма, разработка вычислительной программы, тестирование программного обеспечения на модельных и реальных объектах. Данная программа позволяет проводить расчет дифракционных картин для различных моделей наноструктур с учетом формы и распределения частиц по размерам, начиная с размеров одной элементарной ячейки кристалла.

Алгоритм основан на прямом расчете интенсивности рассеяния рентгеновских лучей в каждой точке обратного пространства. Для расчетов используется выражение $I(\xi, \eta, \zeta) = P \cdot \tau \cdot |F(\xi, \eta, \zeta)|^2 \cdot |\Phi(\xi, \eta, \zeta)|^2$, где ξ, η, ζ – координаты точки в обратном пространстве, $I(\xi, \eta, \zeta)$ – интенсивность, P – поляризационный фактор, τ – тепловой множитель, $F(\xi, \eta, \zeta)$ – структурная амплитуда, $\Phi(\xi, \eta, \zeta)$ – интерференционная амплитуда. Значение интенсивности в каждой точке порошковой рентгенограммы $2\Theta_j$ определяется путем суммирования по всем точкам сферы радиуса $s_j = 2 \sin \Theta_j / \lambda$ за счет перебора координат ξ, η, ζ в обратном пространстве. Такой подход позволяет рассчитывать полные профили дифракционных картин с учетом не только брэгговского рассеяния, но и эффектов, вызванных диффузным рассеянием вследствие несовершенной структуры наночастиц и/или специфических когерентных способов стыковки наночастиц друг с другом. Последний случай возникает при упорядоченной ориентации наноблоков в наноструктурированных агрегатах.

Предложенный алгоритм является оригинальным. Он реализован и апробирован нами на тестовых объектах и впервые представляется в настоящем сообщении.

Работа поддержана грантом РФФИ 08-03-00964а.

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

РАДИОФИЗИКА	3
Ю. Н. Биденко	3
А. С. Воробьёв	4
А. А. Выродов	5
П. П. Гугин	8
Е. В. Емельянов	9
В. Д. Забродин	10
Д. С. Козин	12
А. В. Оттмар	16
А. Н. Панов	17
А. В. Поликарпов	18
А. С. Сосков	19
И. И. Тихонюк	20
А. А. Усюкевич	21
К. Ю. Чернов	22
К. В. Шпольвинд	23
АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАШИННАЯ ГРАФИКА	25
С. А. Авдеев	25
В. С. Июдин, М. П. Цейтлин	26
А. А. Коробейников, В. Н. Хомутов	27
Е. Г. Крвенцов	28
В. В. Лукашов	29
А. В. Николаев	30
Д. В. Огородников	31
В. В. Рудаковский	32
А. В. Соколов	33
А. А. Тычинская	34
И. А. Юрлагин	35
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА	37
А. Н. Базлаев	37
А. Ю. Бурдакова	38
Е. П. Волкова	39
М. Д. Иванов	40
М. А. Ковальков	41
В. Б. Макарова	43
М. Б. Омелянчук	44
Е. А. Павлюков	45
Ю. А. Пляхин	46

П. Б. Чеблаков.....	47
Ф. В. Шпомер	48
ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР, ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И МАГНЕТИЗМА	50
Е. В. Абрамова, П. К. Галенко, В. Г. Лебедев.....	50
Н.Б. Бакулина.....	51
С.В. Беляков.....	52
А. Л. Волкова, Д. А. Иванов	53
П. Ю. Гатилов	54
К. В. Гец	55
Э. С. Казанцева, А. В. Шатрова	56
Ю. Е. Николаев.....	57
А. М. Соколов, Т. И. Буряков.....	58
Н. А. Юзеева	59
С. В. Беляков.....	60
ФИЗИКА ПЛАЗМЫ.....	62
А. С. Аракчеев, Ю. В. Петенев.....	62
Н. С. Бабанова, Д. С. Плотников, М. Ю. Ивентичев	63
П. В. Громыко.....	64
И. С. Емелев.....	65
К. Ю. Кириллов	66
М. В. Колосов	67
М. С. Коржавина	68
А. С. Крыгина	69
Д. В. Мещеряков.....	70
Е. И. Пинженин	71
Д. С. Плотников, Н. С. Бабанова, М. Ю. Ивентичев	72
К. С. Салосин	73
А. В. Сасин, А. А. Платонов.....	75
Н. В. Ситников.....	76
Д. И. Сквородин	77
А. В. Судников	78
Х. Д. Ламажапов, Д. А. Рыбаков.....	79
И. С. Черноштанов	80
ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ.....	81
И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ.....	81
А. С. Валькович	81
И. К. Кабардин.....	82
Д. А. Мильштейн.....	83
Е. Г. Цуканова.....	85
АЭРОФИЗИКА И НЕРАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ	86
С. В. Базалийский.....	86

Д. В. Беденко	88
Т. А. Бобарыкина.....	89
М. А. Бондарь	90
А. И. Голубов.....	91
Е. В. Донцов.....	92
И. А. Елисеев, И. К. Кабардин	93
И. К. Кабардин, И. А. Елисеев	94
И. В. Казанин	95
С. В. Кириловский.....	96
И. А. Козулин.....	97
Д. В. Крей.....	98
А. В. Крюков.....	99
П. А. Мотырев, М. М. Катасонов.....	100
Р. И. Мулляджанов.....	101
М. С. Ожгибесов.....	102
В. Ю. Осипов	103
А. М. Павленко	104
С. В. Постолова	105
А. В. Пушкарёв, А. Д. Будовский	106
К. М. Сердюк	107
К. Ю. Тимофеев.....	108
Д. А. Тропин	109
Б. В. Постников, В. А. Уланов.	110
А. М. Бурханова, А. С. Хисматуллин	111
М. Ю. Хребтов.....	112
А. Н. Чернявский.....	113
Т. А. Чимытов.....	115
А. С. Шипицына	116
Ю. С. Козорезов, В. М. Дулин.....	117
КВАНТОВАЯ ОПТИКА	118
В. А. Акулов.....	118
А. М. Бакиров	119
Т. Ю. Балакина	120
А. В. Иваненко.....	121
В. И. Иткин, И. Л. Михеев, Т. Н. Дудик, О. В. Позак, М. С. Ивасенко	122
И. А. Лобач	123
Н. А. Маракасов.....	124
Н. А. Матвеева	125
В. Г. Миргород	126
А. В. Немькин	127
В. А. Попова.....	128
А. В. Савельева	129

А. А. Спиридонов.....	130
Н. С. Тарасов, Д. С. Чуркин.....	131
Н. А. Торопов.....	132
Е. В. Удальцов, Д. Ф. Складов.....	133
С. А. Фролов.....	134
О. И. Чащина.....	135
В. П. Чубаков.....	136
И. С. Шелемба.....	137
С.А. Жигач, А.В. Коньшева.....	138
ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ	140
Д. С. Абрамкин.....	140
У. Абдиев.....	141
И. А. Александров.....	142
З. Алимова.....	143
С. А. Алямкин.....	144
И. О. Ахундов, А. С. Васильев.....	145
Г. Г. Варданян.....	146
А. В. Гапченко.....	147
Н. А. Гладких.....	148
Д. В. Горшков.....	150
М. Ю. Аверкина, Н. С. Басько, Е. С. Гриднева, А. С. Акрестина.....	151
А. Н. Карпов.....	152
Е. С. Коптев.....	153
А. С. Любин.....	154
Э. В. Марчук, Д. В. Завьялов.....	155
Б. И. Михайлов.....	156
С. В. Мутилин.....	157
О. Т. Мухутдинов.....	158
С. С. Некрашевич.....	159
Н. В. Неськина, В. В. Журов.....	160
Е. В. Николаева.....	161
О. С. Оболонская.....	162
А. Очиллов.....	163
А. В. Павлов.....	164
С. А. Рожков.....	165
С. В. Рябцев.....	166
А. Н. Камодин, М. В. Карташова, С. А. Сафроненков.....	167
Е. С. Сенченко.....	168
Г. Ю. Сидоров.....	169
С. В. Ситников.....	170
А. В. Сорочкин.....	171
В. А. Тимофеев.....	172

А. Худойкулов	173
А. А. Шевырин	174
ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА	180
И. С. Беспалов.....	180
В. А. Болотов, Е. И. Удалов, Ю. Ю. Танашев, Ю. Д. Черноусов	181
О. В. Боровкова	182
И. В. Бугаков.....	183
Н. В. Будачёв, А. А. Палецкий, О. П. Коробейничев	184
А. А. Вольф	185
Т. И. Головская	186
О. А. Горбунов.....	187
Р. К. Жданов	188
Р. Б. Зарипов, В. И. Джабаров, А. А. Князев, М. В. Стрелков.....	189
А. В. Иванов.....	190
Н. П. Исаев.....	191
О. А. Крумкачёва.....	192
А. В. Лончаков.....	193
А. А. Лямкина	194
А. В. Миллер.....	195
П. М. Пономаренко	197
Б. С. Сыдыков	198
М. Н. Уваров.....	199
Н. С. Филиппов.....	200
С. С. Якушкин.....	201
БИОЛОГИЧЕСКАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА	202
И. А. Абдулин, О. А. Вшивкова	202
Е. А. Акатьева.....	203
В. В. Герасимов	204
И. А. Елина, Н. Н. Козлова	205
И. В. Калгин	206
Д. А. Кокорин	207
И. В. Колесникова	208
И. И. Коптюг	209
А. М. Кривцун	210
Е. В. Морозов.....	211
А. В. Нелепец.....	213
А. В. Пивцов	214
Ю. Г. Пичугин	215
И. И. Храмцов.....	217
Т. Н. Шерстова	218

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ	219
И. А. Болдов	219
А. Ю. Вшивков, Г. Е. Нагибин	220
В. В. Голушко	221
Т. С. Грекова	222
А. В. Дзюба	223
Е. В. Егоренкова	224
Д. Ю. Жапова	225
М. Г. Иванов	226
А. М. Игошкин.....	227
Ж. Т. Камбарова, Б. Кутум	228
А. А. Корепанов.....	229
А. Ю. Манжула.....	230
Н. А. Небогатикова, Е. П. Плюснин	232
Н. А. Небогатикова, Е. П. Плюснин	233
М. А. Неклюдова, С. В. Ти	234
Е. Г. Пасько, А. А. Козулин.....	235
А. И. Пилипенко, А. А. Козулин.....	236
А. Н. Попова	237
О. В. Седельникова	238
Н. А. Туманов, В. С. Миньков.....	241
Д. А. Яценко.....	246

МАТЕРИАЛЫ
XLVI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ
СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«Студент и научно-технический прогресс»

ФИЗИКА

Тезисы докладов печатаются в авторской редакции

Дизайн обложки – И. И. Коптюг

Подписано в печать 18.04.08

Офсетная печать

Заказ №

Формат 60x84/16

Уч.-изд. л. 12,4

Тираж 300 экз.

Редакционно-издательский центр НГУ
630090, Новосибирск-90, ул. Пирогова, 2