

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

**МАТЕРИАЛЫ
XLVII МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

«Студент и научно-технический прогресс»

12-15 апреля 2009

ФИЗИКА

**Новосибирск
2009**

УДК 54
ББК Тя431

Материалы XLVII Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Физика / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2009. 39 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
Ответственный секретарь – канд. физ.-мат. наук, доц. А. Е. Зарвин

Члены бюро секции – д-р физ.-мат. наук, проф. Л. А. Боярский,
д-р физ.-мат. наук, проф. В. И. Давыденко,
канд. техн. наук, доц. Е. В. Козырев,
канд. физ.-мат. наук, доц. И. Б. Логашенко,
канд. физ.-мат. наук, доц. Д. В. Стась,
д-р физ.-мат. наук, проф. М. Е. Топчиян,
д-р физ.-мат. наук, доц. С. В. Цыбуля,
канд. физ.-мат. наук А. В. Чернышев,
канд. физ.-мат. наук, доц. С. И. Чикичев,
доц. М. Ю. Шадрин, чл.-кор. РАН, проф. А. М. Шалагин,
д-р физ.-мат. наук Б. А. Шварц.

© Новосибирский государственный
университет, 2009

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАШИННАЯ ГРАФИКА

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗАННЫХ ТВЁРДЫХ ТЕЛ В НЕИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОТЧЁТА, ГЛОБАЛЬНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ

С. А. Авдеев

Новосибирский государственный Университет
Институт автоматизации и электрометрии СО РАН

Продолжением работы [1] стала задача моделирования систем связанных твёрдых тел в неинерциальной системе отсчёта (НИСО) с глобальными ограничениями области допустимого движения. При моделировании механических систем в НИСО добавляются четыре новых слагаемых, которые связаны с неинерционностью системы отсчёта. Они зависят от поступательного ускорения, вращательной скорости и вращательного ускорения неинерциальной системы отсчёта.

Проблема моделирования глобальных ограничений области допустимого движения была решена аналогично проблеме моделирования ограничений относительного движения, обусловленных природой связей между отдельными элементами механической системы, путём ввода механизма определения пересечений между геометрическими представлениями тел и окружения. В самом простом случае тела могут представлять-ся набором коллизионных точек, а окружение - набором плоскостей.

Из-за того, что программный пакет, явившийся итогом работы [1] не удовлетворял требованию реального времени, предъявляемому в комплексах тренажеров, разрабатываемых в нашей лаборатории, было необходимо провести оптимизацию производительности процесса моделирования. Этот комплекс мер можно разбить на три направления:

1. Ускорение матричных операций за счёт применение быстрых библиотек и использования разреженности. Полученный прирост – в 30 раз.
2. Увеличение производительности за счёт более быстрого прохождения шага в 100 мсек. с помощью применения более сложных разностных схем. Ожидаемый прирост – в 2 раза.
3. Применение более сложного процесса стабилизации моделирования, что, возможно, позволит увеличить атомарный шаг по времени. Ожидаемый прирост – в 1,5 раза.

1. С.А. Авдеев, Математическое моделирование системы связанных твердых тел и реализация программного пакета, Квалификационная работа.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. М. М. Лаврентьев, В. С. Бартош

ИНТЕРФЕЙС АНАЛИЗАТОРОВ МАЭС НА ОСНОВЕ GIGABIT ETHERNET И СЕМЕЙСТВА ПРОТОКОЛОВ TCP/IP

С. А. Бабин

Новосибирский государственный университет
Институт автоматизации и электротехники СО РАН

В настоящее время для проведения атомно-эмиссионного спектрального анализа получили широкое распространение многоканальные анализаторы атомно-эмиссионных спектров (анализаторы МАЭС). Анализаторы создаются на основе многоэлементных полупроводниковых детекторов излучения – линеек фотодиодов, сигнал с которых преобразуется в цифровую форму в блоке электронной регистрации. Данные с блока электронной регистрации передаются для дальнейшего хранения и обработки в компьютер с помощью интерфейса анализатора МАЭС.

В каждом анализаторе, в зависимости от решаемой задачи, используется сборка из нескольких линеек (от 1 до 24 шт.). Каждая линейка содержит 2580 светочувствительных элементов. На момент написания работы считывание фотодиодных линеек производится последовательно посредством 16-битного АЦП, частота оцифровки которого 1 МГц. В итоге максимальная скорость передачи данных составляет 16 Мбит/с, что вполне укладывается в пропускную способность используемого сейчас протокола Fast Ethernet. Данная схема накладывает ограничение на минимальное время экспозиции. Так, для сборки, состоящей из 24 линеек фотодиодов, минимальное время экспозиции составит около 160 мс. Однако для решения определенного ряда прикладных задач, таких, например, как сцинтилляционный атомно-эмиссионный спектральный анализ, требуется уменьшение времени экспозиции до 2,5 мс, для чего разрабатывается схема с параллельным чтением линеек в сборке. Сигнал каждой линейки оцифровывается своим АЦП, оцифровка сигналов линеек происходит одновременно. Скорость передачи увеличится до 384 Мбит/с (для 24 линеек) и пропускной способности Fast Ethernet становится недостаточно. Для решения этой проблемы был разработан новый, более быстрый интерфейс для блока регистрации в составе анализатора МАЭС на основе Gigabit Ethernet и семейства протоколов TCP/IP.

В работе рассматривается разработка архитектуры нового интерфейса, подбор компонент, проектирование принципиальной схемы, создание аппаратного описания и тестирование интерфейса. Предполагается использование разработанного интерфейса в серийных анализаторах МАЭС, что позволит снизить время экспозиции фотодиодных линеек до нескольких миллисекунд и тем самым расширить их область применения.

Научный руководитель – канд. техн. наук В. А. Лабусов

РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОЙ АППАРАТУРЫ «СКАЛА-48»

В. А. Белобородов, Г. Л. Панин
Новосибирский государственный университет
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука

В изучении земных недр широко применяется электрометрия. Метод вертикального электрического зондирования относится к числу часто используемых и находит широкое применение при решении задач, связанных с археологией, гидрогеологией, строительством, коммунальным хозяйством, поиском и разведкой месторождений полезных ископаемых.

Именуемая на рынке геофизическая аппаратура, как правило, состоит из отдельных частей (генераторы, измерители, коммутаторы), громоздка, требует ручного управления и постоянного внимания оператора, что делает её неудобной и неэффективной в работе. Для решения исследовательских и прикладных задач представляется актуальным создание компактного и мобильного прибора, объединяющего в себе генератор, измеритель, многоканальный коммутатор, блок управления и хранения данных, а также работающего в автоматическом режиме. Разработка такого прибора (СКАЛА-48) ведётся в лаборатории электромагнитных полей ИНГГ СО РАН на базе программируемых логических интегральных схем совместно с микроконтроллерами.

Разработанное ПО для аппаратуры СКАЛА-48 обеспечивает следующие возможности:

1. *Работа с 2D и 3D электротомографией.* Многоканальность аппаратуры позволяет применять её для профильных и площадных исследований, для чего реализована поддержка различных режимов автоматической коммутации.
2. *Настройка параметров прибора.* Параметры генератора и измерителя могут быть отрегулированы исходя из условий, в которых осуществляются измерения.
3. *Контроль качества данных.* Реализована возможность определения качества заземлений, уровней шумов в измерительных линиях и степени отклонения измеряемых величин.
4. *Современная система хранения данных.* Данные и служебная информация хранятся на накопителе с файловой системой, поддерживаемой современными операционными системами.
5. *Полная автономность.* Обеспечивается сохранность данных в нештатных ситуациях и работа со всеми необходимыми файлами без использования персонального компьютера.

Научный руководитель - канд. техн. наук А. К. Манштейн

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КОНДЕНСАТОРНЫХ СТРУКТУР С ПОДВИЖНЫМИ ОБКЛАДКАМИ

В. В. Бувеч

Санкт-Петербургский государственный горный институт
(технический университет)

В настоящее время при разработке датчиков и исполнительных устройств широкое распространение получили мембранные конструкции емкостного типа. Принцип действия соответствующих устройств основан на смещении мембраны, одновременно являющейся одной из обкладок конденсатора под влиянием внешних воздействий. Мембрана может быть выполнена в виде электрета - диэлектрика, способного длительно сохранять наэлектризованное состояние. Это позволяет в ряде случаев отказаться от использования источника питания и получить улучшенные характеристики разрабатываемых устройств. Электреты в настоящее время находят все большее применение в различных областях техники. Основным применением электретов, однако, остаются электретные преобразователи (ЭП) мембранного типа – электретные микрофоны (ЭМ) и звуковые излучатели. Так, например, в настоящее время большинство выпускаемых в мире микрофонов являются электретными. Это связано с дешевой и высоким качеством ЭМ.

В настоящей работе разработана методика и устройство для определения неразрушающим способом таких важных параметров ЭП как натяжение его мембраны, ее поверхностный потенциал, толщина рабочего воздушного зазора, прогиб мембраны под действием электростатических сил и др. Методика основана на измерении вольт-фарадной характеристики капсуля ЭП: под действием приложенного электрического напряжения из-за электростатических сил мембрана ЭП прогибается, что приводит к изменению его емкости. Из полученной в работе аналитической зависимости емкости от напряжения можно определить указанные выше параметры. В работе также разработана методика расчета чувствительности ЭП и предложена схмотехническая реализация методики. Практическое применение методики использовано в автоматизированном комплексе для тестирования капсулей ЭМ [1], который также может быть использован при проектировании новых ЭП.

1. Патент 2132116 РФ. Способ определения качества электретных электроакустических преобразователей и устройство для его реализации / Ф.И. Баталов, Н.С. Пщелко, А.С. Ястребов (РФ). 1999г.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Н. С. Пщелко

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ И СИГНАЛОВ

И. Ю. Булаев, П. С. Колодин, П. А. Воронков
Московский энергетический институт (технический университет)

На кафедре основ радиотехники МЭИ создан и эксплуатируется учебный комплекс, предназначенный для исследования радиотехнических цепей и сигналов методами автоматизированного физического эксперимента и математического моделирования [1]. В этом комплексе функции генераторных и измерительных приборов выполняет генераторно-измерительная система: компьютер и лабораторный стенд, взаимодействующие с помощью специально разработанного программного обеспечения. Такое построение лабораторного комплекса имеет существенные экономические и методические достоинства.

С учетом десятилетнего опыта работы комплекса была создана новая версия генераторно-измерительной системы [1]. Значительные изменения претерпели как аппаратная, так и программная составляющие системы. В данной работе отражены наиболее характерные особенности нового программного обеспечения.

Была создана новая система калибровки, которая в автоматизированном режиме компенсирует (программным образом) систематические погрешности аппаратной части (дрейф нуля, погрешность амплитуды сигналов). Разработан блок компенсации частотных искажений в генераторном и измерительном каналах стенда.

Создан более совершенный алгоритм дискретизации, в котором учитываются технические характеристики нового стенда. При дискретизации по новому алгоритму принимаются в расчет не только параметры сигнала, но и параметры цепи, на которую данный сигнал воздействует. В результате повышается точность моделирования.

Разработан новый виртуальный инструмент – «мультиметр», позволяющий оперативно измерять основные числовые характеристики сигналов (постоянную составляющую, амплитуду, частоту и фазу).

1. Автоматизированный лабораторный комплекс для изучения радиотехнических цепей и сигналов на базе универсального лабораторного стенда «Сигнал–USB» / Пейч Л.И., Поллак Б.П., Смирнов Ю.К., Точилин Д.А. // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments: VI Междунар. науч.-практ. конф.: Сб. трудов конференции. – М.: РУДН, 2007. С. 414-419.

Научные руководители – Л. И. Пейч, канд. техн. наук, доцент
Б. П. Поллак, канд. техн. наук
Д. А. Точилин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛОГА ТЕОРЕМЫ ПЭЛИ-ВИНЕРА ДЛЯ ТОМОГРАФИИ ПО НЕПОЛНЫМ ПРОЕКЦИОННЫМ ДАННЫМ

Н. В. Важенцева

Новосибирский государственный университет
Институт автоматики и электротриии СО РАН

При использовании алгоритмов томографической реконструкции, основанных на обращении преобразования Радона, предполагается возможность наблюдения (зондирования) объекта во всех направлениях. Если это предположение не выполняется, возникает фундаментальная проблема реконструкции объекта по неполным проекционным данным. В частности, она встаёт в тех случаях, когда наблюдение объектов при всех углах нежелательно или просто невозможно. Попыткам её решения посвящено большое количество работ. Но она остаётся нерешённой до конца и к настоящему времени.

Целью данной работы является разработка алгоритма, позволяющего оценивать проекционные данные в тех направлениях, в которых они отсутствуют. При этом используется свойство преобразования Радона, известное под названием аналог теоремы Пэли-Винера. Эта теорема позволяет получить произвольный момент одномерного сечения преобразования Радона, если это преобразование известно при конечном числе углов. С практической точки зрения это означает, что возможна оценка моментов проекций, в тех направлениях, где они неизвестны, по имеющимся данным в ограниченном диапазоне углов.

Была написана программа выполняющая моделирование указанной задачи. Эта программа имеет возможность вычислять простые двумерные фантомы, а также проекционные данные от этих фантомов. По вычисленным аналитически проекционным данным программа может вычислять моменты проекций в отсутствующих направлениях, а по ним сами проекции.

В настоящей работе показано, что использование описанного метода оценки проекций позволяет повысить качество реконструкции объектов по данным, в которых отсутствует некоторый диапазон углов обзора объекта.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИЕЙ

Д. Б. Воробьева

Новосибирский государственный университет

Конструкторско-технологический институт вычислительной техники
СО РАН

Стремление собственников промышленных предприятий максимально использовать ресурс оборудования и необходимость обеспечения его надежной работы привело к формированию нового подхода в АСУ ТП, в основе которого лежит одновременный мониторинг оборудования, анализ рисков, прогнозирование аварий и управление технологическим процессом на основе полученных данных [1].

В КТИ ВТ СО РАН разрабатывается АСУ ТП электрической подстанции на основе нового прогрессивного подхода. Структурная схема АСУ ТП электроснабжения на основе Контроллера Электрической Ячейки (КЭЯ) представляет собой двухуровневую распределенную систему сбора данных и телеуправления. Контроллер устанавливается непосредственно в ячейку, где сосредоточены и все его связи с первичными сигналами. КЭЯ – это многофункциональное мультипроцессорное устройство, предназначенное для комплексного управления, мониторинга, диагностики оборудования ячейки электрической подстанции, технического учета и контроля качества электроэнергии, регистрации аварийных событий.

Целью данной работы является создание программного комплекса автоматизированного технологического управления электрической подстанцией на базе КЭЯ.

Программное обеспечение верхнего уровня КЭЯ разрабатывается на языке C++ под ОС Linux. При разработке учитывались такие основные требования, как безопасность, гибкость и расширяемость.

Программный комплекс включает в себя следующие подсистемы: мониторинг параметров качества электроэнергии и оборудования, технический учет электроэнергии, отображение информации и управление, оповещение, ведение отчетов, конфигурация.

1. О построении подсистем мониторинга, управления и диагностики оборудования подстанций сверхвысокого напряжения и их интеграции в АСУ ТП ПС./ Мордкович А.Г., Горожанкин П.А. Энергосистемы и электрические сети, 2007, №6

Научные руководители – канд. техн. наук А. С. Зензин, В. В. Колодей

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ОТЛАДЧИК СИСТЕМЫ РАДИАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЛАЗЕРНОГО ФОТОПОСТРОИТЕЛЯ

Ю. С. Восель

Новосибирский государственный университет
Институт автоматизации и электротехники СО РАН

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений компьютерного синтеза дифракционных оптических элементов (ДОО) является применение сканирующих лазерных систем записи. Существуют два основных типа таких систем: ортогональные и круговые. Лаборатория дифракционной оптики ИАиЭ СО РАН разработала ряд круговых лазерных записывающих систем (КЛЗС), предназначенных для записи ДОО и угловых шкал в полярной системе координат. Важным компонентом данных систем является система радиального позиционирования (СРП) записывающего пучка. На качество её работы влияет широкий спектр внешних факторов, которые следует учитывать во время настройки ПИД-регулятора СРП. Сейчас во время подготовки КЛЗС к работе оператор должен самостоятельно оценить качество работы элементов СРП (интерферометра и ПИД-регулятора) и в случае необходимости внести изменения параметров, доступные для модификации. Эта процедура занимает много времени, не гарантируя оптимального выбора коэффициентов.

Данная работа посвящена решению задачи оптимальной автоматизированной настройки интерферометра, как датчика положения, и ПИД-регулятора СРП. В рамках поставленной задачи были разработаны алгоритмы анализа сигналов интерферометра, получаемых компьютером от контроллера СРП. Из полученных данных выделяется информация о параметрах настройки интерферометра. По этим параметрам определяется совокупная оценка качества квадратурных сигналов интерферометра, и вычисляются оптимальные величины их усиления и сдвига при предварительной обработке в контроллере СРП.

После настройки сигналов датчика положения необходимо настроить ПИД-регулятор. Для его автоматизированной настройки выбран модифицированный алгоритм Циглера-Николса[1]. В докладе представлены результаты применения данного алгоритма для определения оптимальных коэффициентов ПИД-регулятора контроллера СРП.

1. Ротач В.Я. Настройка регуляторов модифицированным методом Циглера-Николса, Промышленные АСУ и контроллеры. 2008 № 02.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ СКАНИРУЮЩИХ ФПУ

А. А. Дербенёв

Новосибирский государственный университет
Институт автоматизации и электротриетрии СО РАН

При использовании многоэлементных сканирующих ФПУ возникает необходимость коррекции их остаточной неоднородности. Известны методы оперативной коррекции данных, основанные на согласовании гистограмм отдельных строк изображения. Однако данные методы не обладают необходимой гибкостью и нередко вносят собственные искажения в результирующее изображение. В ИАиЭ СО РАН разработан метод обработки изображений, позволяющий производить коррекцию поступающих данных на основе аппроксимации динамической характеристики элементов ФПУ по их окрестности.

Настоящая работа посвящена исследованию данных методов и разработке предложений, ориентированных на повышение их эффективности.

Перечисленные методы основаны на сравнении соседних строк изображения и предполагают их подобие. Для исключения влияния мелких деталей изображений предложено расчет коэффициентов производить в два шага: на первом выполняется их предварительная оценка и отбрасывание далеких значений, на втором корректирующие коэффициенты уточняются по оставшимся отсчетам. Кроме того, предложено осуществлять формирование массива коэффициентов с учетом анализа нескольких последующих кадров на основе оценки гладкости получаемого в результате коррекции изображения.

Выполнено исследование эффективности алгоритмов коррекции в различных их модификациях путем компьютерного моделирования. С этой целью в тестовую видеопоследовательность вносились мультипликативные и аддитивные искажения. Затем производился расчет коэффициентов названными выше методами и их сравнение с внесенными искажениями.

Показано, что с учетом предложенных в данной работе приемов разработанный метод коррекции неоднородности чувствительности сканирующих ФПУ позволяет практически полностью исключить влияние особенностей обрабатываемых изображений на качество процедуры коррекции.

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

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В КАЛОРИМЕТРЕ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО КРИПТОНА МЕТОДОМ dE/dx

Е. Г. Козлов

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

Детектор КЕДР, расположенный в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН и являющийся частью ускорительного комплекса ВЭПП-4М [1], предназначен для регистрации элементарных частиц в области энергий от 2 до 11 ГэВ [2]. Детектор состоит из большого количества систем, одной из которых является электромагнитный калориметр на основе жидкого криптона. Калориметр позволяет измерять координаты и энергии регистрируемых частиц, а также, благодаря высокой гранулярности, ионизационные потери заряженных частиц на единицу длины (dE/dx). Информация о dE/dx может служить для идентификации – определения типа частицы.

Величина dE/dx подвержена флуктуациям относительно средней величины, в результате чего имеет смысл идентификация только минимально ионизирующих частиц. Главной целью работы является создание алгоритма эффективного различения π - и K -мезонов. Исходя из функции Бете-Блоха [3], такое различение становится невозможным при больших величинах импульса идентифицируемой частицы: разница между dE/dx становится меньше среднеквадратичного отклонения; определение максимального импульса также входит в список основных задач. Результатом работы будет библиотека C++ для идентификации частиц, которая будет включена в программный комплекс реконструкции калориметра и сможет расширить возможности детектора КЕДР по анализу адронных процессов.

На данный момент исследованы разрешения по dE/dx для μ -, π - и K -мезонов, полученных с помощью комплекса моделирования взаимодействия частиц с детектором, и выяснено, что разрешения составляют менее 10% для всех типов частиц.

1. APAC 2007. – Indore, India: Raja Ramanna Centre for Advanced Technology, 2007. – С. 112–114.

2. Nuclear Instruments and Methods A478 (2002). – 2002. – С. 420–425.

3. Группен К. Детекторы элементарных частиц: Справочное издание /пер. с англ. – Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. – 408 с.

Научный руководитель – И. О. Орлов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ПОПУЛЯЦИЙ ОДНОКЛЕТОЧНЫХ ОРГАНИЗМОВ

А. А. Косенков

Новосибирский государственный университет
Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Институт цитологии и генетики СО РАН

В настоящее время вычислительные мощности компьютеров быстро возрастают. Несмотря на это задача моделирования является одной из основных в биоинформатике. Она охватывает: многопараметрические модели эволюции и видообразования, трофические взаимодействия и т. д.

Для моделирования эволюции популяций диплоидных организмов (100 – 1000 особей) вычислительных мощностей достаточно. Однако при переходе к гаплоидным организмам при использовании традиционных моделей память становится узким местом. Причиной этому служат большие размерности, предполагаемые при эмуляции эволюции популяций гаплоидных организмов.

Целью данной работы является разработка системы, базирующейся на методике под названием Эволюционный Конструктор [1]. Данная методика предназначена для эмуляции коэволюции гаплоидных организмов и позволяет устранить сильную чувствительность к памяти.

Разрабатываемая в рамках данной работы система включает в себя графический редактор эволюции бактерий, а также распределенное серверное приложение, рассчитывающее динамику популяций. Редактор позволит производить как полное описание исследуемой системы, так и визуализацию полученных результатов. Описание системы включает в себя задание набора популяций, их генотипа и соответствующих субстратов.

Разработка редактора ведется на базе библиотеки ARANEUS, разрабатываемой в лаборатории теоретической генетики Института Цитологии и Генетики СО РАН. Концептуальные решения соответствуют принципам реконструкции биологических систем на основе онтологий [2].

1. Лашин С.А., Колчанов Н.А., Матушкин Ю.Г. Эволюционный конструктор: методика и комплекс программ для моделирования эволюции трофически связанных популяций одноклеточных гаплоидных организмов // Вычислительные Технологии, Том 13, № 6, 2008 год

2. Miginsky D.S., Suslov V.V., Timonov V.S., Rasskazov D.A., Sournina N.Yu., Podkolodny N.L. Approaches to the Computer Reconstruction of the Biological Networks // Intelligent Data Analysis, Vol. 12, No. 5 (2008) P. 463-479.

Научный руководитель – Д. С. Мигинский

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СТРОБОСКОПИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А. А. Мамрашев

Новосибирский государственный университет
Институт автоматики и электрометрии СО РАН

Терагерцовое излучение — это часть электромагнитного спектра с частотами в диапазоне от 0,3 до 10 ТГц. Терагерцовое излучение может быть использовано как во всевозможных прикладных задачах, так и для чисто фундаментальных исследований [1].

Лаборатория физико-технических средств дистанционной диагностики ИАиЭ СО РАН занимается разработкой системы терагерцовой спектроскопии «Корвет-ТГц-001», основанной на импульсной генерации терагерцового излучения методом оптического выпрямления и электрооптической регистрации при помощи нелинейно-оптических кристаллов [2].

Ключевым элементом системы регистрации является синхронный усилитель, настроенный на частоту модуляции генерируемых импульсов. Временная задержка стробирующего оптического импульса относительно регистрируемого терагерцового импульса осуществляется с помощью моторизованной подвижки с установленным на ней уголковым отражателем.

В рамках данной работы было разработано и реализовано программное решение, позволяющее получать данные с синхронного усилителя SR844, управлять моторизованной подвижкой Standa 8MT173-50-20 с точностью 1 мкм (что соответствует временному разрешению в 3 фс), осуществлять автоматическое поточечное сканирование показаний усилителя при перемещении подвижки и затем восстанавливать и визуализировать временную и спектральную формы терагерцового импульса по данным сканирования.

Программное обеспечение реализовано в среде разработки LabView.

1. M. Tonouchi. Cutting-edge terahertz technology // Nature photonics. 2007. V. 1. P. 97—105.

2. В.Д. Анцыгин, С.М. Кобцев, С.В. Кукарин, А.А. Мамрашев, Н.А. Николаев, О.И. Потатуркин. Особенности создания портативных широкополосных терагерцовых спектрометров // Всероссийский семинар по физике миллиметровых и субмиллиметровых волн. 2—5 марта 2009. Нижний Новгород, принято в печать.

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

СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЮ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

А. В. Носенко

Новосибирский государственный университет
Институт автоматики и электрометрии СО РАН

При изучении языков программирования, ориентированных на создание управляющих алгоритмов, теоретические знания должны подкрепляться лабораторно-практическими занятиями по решению типовых задач из области промышленной автоматизации на стендах-тренажерах. Однако такие стенды громоздки, требуют серьезных финансовых затрат на создание и поддержку их в работоспособном состоянии, а ошибки, допускаемые студентами-практикантами во время работы, зачастую приводят к выходу стендов из строя.

В этих условиях наиболее перспективный способ организации практических занятий по курсам промышленной автоматизации должен быть основан на использовании программных имитаторов – виртуальных лабораторных стендов (ВЛС). В ИАиЭ СО РАН было предложено создавать ВЛС на базе пакета LabVIEW и языка Рефлекс. Однако на настоящее время полноценный набор типовых ВЛС не создан. Также не унифицирован и процесс создания ВЛС.

Цель работы – унифицировать трудоёмкий процесс создания ВЛС и создать набор ВЛС, моделирующих типовые ситуации, возникающие при решении задач промышленной автоматизации.

Для достижения цели были собраны задачи по созданию управляющих алгоритмов из открытых источников. Из этого набора сформирован пакет типовых сценариев, предполагающих параллельную (независимую) обработку дискретных сигналов, регулирование физических параметров, обработку событий, работу с временными интервалами.

Для унификации создания сценариев предложено выделять в ВЛС входные сигналы диагностики состояния, выходные сигналы управления моделью объекта (формируемые в зависимости от режима программно или вручную), сигналы оперативного воздействия, формируемые только пользователем, которые позволяют отработать поведение алгоритма в различных ситуациях и используемые визуальные эффекты.

В настоящее время создаётся библиотека типовых модулей отображения визуальных эффектов (заполнение объема жидкостью, сыпучими материалами, движение, наложение графических примитивов и др.) В ближайшее время планируется приступить к реализации выбранных сценариев.

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

АНАЛИЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СТРУКТУР

К. В. Оконечников

Новосибирский государственный университет

Одной из важнейших областей исследования в биологии, физиологии и фармацевтике является изучение биологических макромолекулярных структур ДНК, РНК и белков. В общем случае такая структура представляет собой набор пространственных координат атомов, составляющих макромолекулу. Кроме этого важными элементами, задающими структуру, являются кодирующая последовательность аминокислот (или нуклеотидов ДНК или РНК), граф химических связей, информация о вторичной структуре и доменах (функциональных областях молекулы).

За последнее время в области биоинформатики было предложено немало способов автоматизации анализа структур. Среди них, такие как, предсказание из кодирующей последовательности вторичной и третичной структур белка, моделирование взаимодействия молекул белка, сравнение трехмерных структур и другие. Неотъемлемой частью анализа структур является визуализация молекул, позволяющая получить более наглядное представление об исследуемом объекте.

В рамках данной работы была разработана модель данных для представления биологической макромолекулярной структуры и создан набор инструментов, который интегрирует в себе существующие способы анализа макромолекулярных структур, связывает между собой методы анализа различных уровней структуры. Работа выполнена на базе проекта с открытым исходным кодом Unipro UGENE [1]. UGENE - это комплексный мультиплатформенный инструмент автоматизации биологических исследований. Разработанный в контексте UGENE набор программных компонентов поддерживает работу с данными форматов world wide PDB [2] и NCBI MMDB [3], предоставляет возможности по трехмерной визуализации молекул, реализует ряд методов предсказания вторичной структуры и поиска активных соединений внутри молекул.

1. <http://ugene.unipro.ru>

2. Berman H.M. and others, The Protein Data Bank, *Nucleic Acids Res.* 235-42 (2000)

3. H. Ohkawa, J. Ostell, S. Bryant, MMDB: An ASN.1 Specification for Macromolecular Structure, NCBI ISMB proceedings (1995)

Научный руководитель — М. Ю. Фурсов

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО СДВИГА В ГЦК МЕТАЛЛАХ

А. Е. Петелин

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Динамика формирования зоны кристаллографического сдвига в ГЦК металлах описывается математической моделью [1], которая представляет собой жесткую систему обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Необходимость автоматизации исследования закономерностей формирования элементарных кристаллографических скользящих и зоны сдвига возникает ввиду необходимости выполнения большого количества расчетов и накопления полученных результатов в базе данных для дальнейшей комплексной обработки. Для решения этой задачи ведется разработка программного комплекса DDSCS (Dislocation Dynamics of Crystallographic Slip).

Программный комплекс DDSCS работает на платформе ОС Windows, имеет стандартный многооконный интерфейс, разработанный с учетом правил проектирования интерфейсов.

В настоящий момент программный комплекс позволяет исследовать динамику формирования зоны кристаллографического сдвига в меди, алюминии, свинце и никеле. Сформирована и постоянно пополняется база данных характеристик материалов по данным независимых экспериментальных и теоретических исследований. Результаты расчетов автоматически сохраняются в базе данных.

Пользователь программного комплекса DDSCS имеет возможность просмотра результатов вычислительных экспериментов в графическом виде и экспорта результатов в текстовые файлы.

Для решения жестких систем ОДУ используется метод Гира с применением вектора Нордсика. Метод позволяет в процессе решения системы ОДУ оптимизировать порядок метода (от первого до двенадцатого) и величину шага интегрирования.

В качестве базового инструмента разработки программного комплекса использован язык программирования C++ и среда программирования Builder 6.0.

1. Петелин А.Е., Самохина С.И., Колупаева С.Н. Математическое моделирование динамики дислокаций в ГЦК металлах // Перспективы развития фундаментальных наук: Томск, 20-23 мая 2008 г. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – С. 286-288.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. Н. Колупаева

АВТОМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ ПОСАДКИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ПЛАНЕТЫ С АТМОСФЕРОЙ

К. А. Плехов, Г. О. Селиванова

Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева

Факультет информационных технологий и энергетики

В наше время происходит довольно обширное исследование космоса, исследование других планет, а в скором времени и колонизация других планет. В этом случае встает вопрос о целесообразности адаптации технологий, предназначенных для нашей планеты, на планеты подлежащих изучению или колонизации. Тем самым встает первоначальный вопрос - адаптация систем посадки космического аппарата на данную планету.

Процесс адаптации достаточно прост по сравнению с полным изначальным детальным изучением планеты и развитием новых, пригодных только для данной среды, технологий, которые в свою очередь являются довольно дорогостоящим и длительным процессом. С помощью данной адаптации систем можно так же частично изучить или просчитать характеристики планет, имея только изначальные параметры планеты такие, как радиус, высота атмосферы, состав атмосферы либо ее плотность, поверхностная температура и т.д. Эти все данные можно получить, используя технологии лазерного сканирования атмосферы либо спуск автоматизированного модуля и расчета параллакса планеты.

В данной работе было проведено исследование условий планирования, противотепловой устойчивости с учетом аэродинамических сил, закона изменения плотности атмосферы от её высоты и закона теплового излучения. Так же был проведен расчет траектории «зависания» летательного аппарата без учета противотепловой устойчивости. Расчеты были сделаны с учетом дальнейшего развития кораблестроения и усовершенствования методов теплового сопротивления. На основе этого была написана программа, позволяющая, при условии наличия необходимых данных, рассчитать и построить теоретическую траекторию посадки летательного аппарата на планеты с атмосферой. Данная программа также предоставляет возможность выявлять несоответствия параметров летательного аппарата, необходимых для контролируемого спуска. На основе этой программы имеется возможность произвести полностью автоматизированный процесс посадки летательного аппарата на планету с атмосферой.

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

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГЕКСАФЕРРИТОВОГО ГИРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАТОРА

А. В. Раков

Московский энергетический институт (технический университет)

На кафедре основ радиотехники МЭИ (в отраслевой проблемной лаборатории ферритов) выполнен цикл работ по созданию и исследованию новых микроволновых гиромагнитных материалов (гексаферритов) и разработке на их основе новых гиромагнитных устройств миллиметрового диапазона [1,2]. Из-за большой трудоемкости экспериментальных исследований в миллиметровом диапазоне была создана система автоматизированного измерения частотных характеристик гиромагнитных материалов и устройств. К сожалению, развитие этих работ в значительной степени замедлилось из-за кризиса 90-х годов.

Сегодня интерес к данной теме возрос. Встала первоочередная задача возрождения установки автоматизации эксперимента. На сегодняшний день такая установка без интеграции с современной программной математической моделью просто немыслима. Данная работа направлена именно на решение задачи моделирования.

Разработан программный модуль, обеспечивающий компьютерную реализацию существующей математической модели гексаферритового гиромагнитного резонатора [1]. Моделируемые параметры: статическая намагниченность, компоненты тензоров магнитной восприимчивости и магнитной проницаемости моно- и поликристаллического резонаторов; параметры прямоугольного волновода с резонатором вышеуказанного типа. Отображаемые характеристики: зависимости вышеуказанных параметров от ориентации резонатора, подмагничивающего поля и частоты. Программная среда — LabVIEW 7.0.

1. Pollak B.P., Hanamirov A.E., Korneev I.V. Mono- und polykristalline hexagonale Ferrite als Materialien für Resonanzrichtungen in der Mikrowellentechnik. / Nachrichtentechnik. Elektronik. 1976. B.26. N.7. S.245—250.

2. Задача исследования и разработки радиотехнических устройств на основе экспериментально корректируемых математических моделей / Поллак Б.П., Ханамиров А.Е., Егоров С.С. и др. // XI Междунар. конф. по Спиновой электронике и Гировекторной электродинамике. М.: Моск. энерг. ин-т, 2002. С.447-451.

Научные руководители – канд. техн. наук, доцент Б. П. Поллак, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник А. Е. Ханамиров

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЕЙВЛЕТ-ПАКЕТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА ОТ ЕГО НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЫ

П. В. Рахлин

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского

Рассмотрено существование зависимости значений коэффициентов вейвлет-пакетного разложения от начальной фазы фазоманипулированного сигнала. Эта зависимость проиллюстрирована на трехмерных графиках (амплитуда коэффициента ВП разложения, номер коэффициента ВП разложения, значение начальной фазы ФМн сигнала). Выбраны узлы, для которых коэффициенты ВП разложения наилучшим образом демонстрируют фазовые скачки.

Начальная фаза менялась от 0 до $\pi/2$ с шагом $\pi/50$. Было взято трехуровневое разложение Добеши 2. Различные фазовые скачки, являющиеся особенностями сигнала, наиболее выражено демонстрируют коэффициенты детализации. Из теории известно, что ВП разложение и ВП реконструкция – обратимые операции. Т.о. выбором конкретной амплитуды коэффициентов детализации можно реконструировать опорный сигнал с нужной начальной фазой. Показано, что наиболее предпочтительными можно считать узлы 4 и 10, т.к. коэффициенты соответствующие этим узлам меняются монотонно и с наибольшей скоростью при изменении начальной фазы сигнала.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Т. К. Болецкая

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ПОИСКА ПО ЗАДЕРЖКЕ И ЧАСТОТНОМУ СДВИГУ СИГНАЛА С ФАЗОВОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ, С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-СИНТЕЗА ОПОРНОГО СИГНАЛА

П. В. Рахлин

Омский государственный университет имени Ф.М. Достоевского

Рассмотрено существование зависимости значений коэффициентов вейвлет-разложения от доплеровского смещения частоты фазоманипулированного сигнала. Эта зависимость проиллюстрирована на трехмерных графиках (амплитуда коэффициента ВП разложения, номер коэффициента ВП разложения, значение смещения частоты ФМн сигнала). Осуществлен поиск ФМн сигнала по задержке и смещению частоты, с использованием алгоритма вейвлет-реконструкции. Частота менялась в диапазоне ± 8 Гц с шагом 0.8 Гц относительно промежуточной частоты $f_0 = 2048$ Гц. Было взято трехуровневое разложение Добеши 2.

Отличительные особенности предлагаемой методики поиска ФМн сигнала: 1) Получение коэффициентов вейвлет-разложения для всех ячеек поиска сигнала. 2) Проведение реконструкции сигнала по коэффициентам вейвлет-разложения. 3) Вычисление взаимной корреляционной функции (ВКФ) принятого и реконструированного сигнала.

Использовалось 1024 сегмента кода, 2 периода промежуточной частоты на сегмент, 16 отсчетов на период промежуточной частоты. Отношение сигнал/шум для принятого сигнала принималось равным -10 дБ. Поиск по частоте происходил в диапазоне $\Delta f = \pm 8$ Гц, с шагом 0.8 Гц. Вычислялись вейвлет-коэффициенты Добеши 2 первого уровня разложения для каждой ячейки неопределенности по частоте для выбранного ФМн сигнала. Последовательно проводилась вейвлет-реконструкция сигнала по коэффициентам, соответствующим каждой такой ячейке. При совпадении частот опорного и принятого сигналов значение пика ВКФ будет максимальным, следовательно, выбором максимального пика ВКФ среди всех ячеек неопределенности по частоте, можно разрешить эту неопределенность. Разница между значениями пиков при совпадении частот $R_{совн}$ и при смещении на 8 Гц $R_{смещ}$ в

относительных единицах составляла $\frac{R_{совн} - R_{смещ}}{R_{совн}} \approx 0.9$. Задержка определялась по сдвигу пика ВКФ относительно опорного сигнала.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Т. К. Бolečкая

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ НА БАЗЕ ЛИНЕЙЧАТОГО ФПУ

Р. А. Романов

Новосибирский государственный университет
Институт автоматике и электротметрии СОРАН

Доклад посвящен разработке методов и программного обеспечения оценке характеристик тепловизионной камеры на базе сканирующего многоэлементного линейчатого ФПУ с использованием набора изображений тестовых полей.

С точки зрения специфики вносимых искажений прибор можно разделить на три части: оптическая система, ФПУ и электронная часть. Оптическая часть представляет собой зеркальную сканирующую по горизонтали систему. ФПУ состоит из двух линеек, сдвинутых относительно друг друга на один элемент, они установлены неподвижно по центру поля. Для чтения данных используются четыре мультиплексора, каждый из которых объединяет данные с половины элементов линейки на один усилитель.

Наиболее заметным искажением, вносимым оптической системой является виньетирование; из-за того, что чувствительная линейка расположена напротив середины объектива, виньетирование присутствует лишь по вертикали. Оптика также вносит еще один эффект, так называемый «нарцисс» – характерное повышение интенсивности сигнала в районе центра изображения, вызванное отражением от линз излучения самой линейки. Из искажений, вносимых ФПУ, стоит выделить характерную горизонтальную структуру, являющуюся следствием способа построения изображения и неравномерности чувствительности отдельных элементов линейки, а также общий шум, объясняющийся нестабильностью элементов во времени. Также характерное искажение вносится различными коэффициентами усиления электронной части.

Для автоматизации анализа тепловизоров были разработаны алгоритмы, позволяющие осуществлять предварительную обработку изображения, выделять отдельные эффекты и вычислять их количественные характеристики. Спроектирован и частично реализован программный комплекс, дающий возможность читать произвольные входные данные, изменять параметры алгоритмов, выполнять их и сохранять результаты выполнения для последующего сравнения полученных данных для различных приборов.

Научный руководитель – канд. техн. наук В. И. Козик

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ УСТРОЙСТВА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ НА ОСНОВЕ КМОП-МАТРИЦЫ

А. Н. Самсонов

Новосибирский государственный университет
Институт Гидродинамики им. акад. Лаврентьева СО РАН

В настоящее время ведутся работы по изучению новых способов сжигания топлива. Одним из таких методов является сжигание топливных смесей в поперечной детонационной волне. О свойствах протекающего процесса можно получать информацию прежде всего из фото- и видеозаписей.

С целью замены существующего на данный момент пленочного фоторегистратора ведется разработка устройства цифровой видеорегистрации движения детонационных волн. Задача сводится к созданию прибора, основными компонентами которого являются: КМОП-матрица, ПЛИС (Программируемая Логическая Интегральная Схема) и оперативная память. При этом большое значение имеют высокоскоростные интерфейсы для обмена информацией между создаваемым прибором и другими модулями будущего оптического регистратора. В процессе работы запланированы эксперименты с различными способами управления КМОП-сенсором (режимами Master, Slave, Snapshot). В частности, планируется определить минимальный размер блоков сенсора (количество строк), которые могут иметь время экспозиции отличное от времени экспозиции всей матрицы. При этом общая производительность матрицы должна быть сохранена на прежнем уровне.

В ходе работы рассматриваются способы видеорегистрации быстротекущих процессов. Исследуются возможности, как механического способа замедления движущегося светового пучка, так и использования специфических свойств КМОП-сенсора.

Задачей работы является разработка тестового образца цифрового видеорегистратора, требованиями к которому являются гибкость и масштабируемость.

1. А. А. Васильев, В. В. Митрофанов, М. Е. Топчиян. Детонационные волны в газах//Физика горения и взрыва.- 1987. - №5. - С. 109-131.

2. Поляков А. К. Языки VHDL и Verilog в проектировании цифровой аппаратуры.- М: СОЛОН-Пресс, 2003.

Научный руководитель – д-р техн. наук, Ф. А. Быковский

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ГОРЕНИЮ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ

И. В. Симоненко

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Исследования в области горения конденсированных систем необходимы для военной отрасли и промышленности, примерами служат военные и гражданские ракеты, иницирующие и замедляющие составы в горнорудном деле, взрывобезопасность производства, корректирующие микродвигатели. Для реализации этих практических потребностей исследуются структура волны горения, баллистические и динамические (нестационарные) характеристики топлива, процессы зажигания.

Основные характеристики, которые интересно получить при изучении нового топлива, это: зависимость скорости горения от внешних условий (давление, температура, тепловое излучение), реактивная сила оттекающих от поверхности горения продуктов газификации, температурный профиль в волне горения, температура зажигания. Для определения данных характеристик проводится ряд экспериментов, в которых сигналы датчиков регистрируются посредством АЦП. Существует задача интерпретации полученных данных в соответствии с типом эксперимента, по возможности улучшить, произвести анализ (спектральные характеристики) и получить качественные и количественные результаты.

Задачей данной работы является разработка программной системы для ПК, которая позволяет с минимальным количеством действий оператора извлекать исследуемые характеристики из данных регистрации, полученных с помощью АЦП в виде файлов бинарного или текстового формата. Система включает в себя предварительную обработку файлов данных в соответствии с их типом (термопарный сигнал, датчик давления, фотодатчик, сигнал датчика реактивной силы и т.д.), определение характерных для данного эксперимента качественных фаз процесса, применение необходимых фильтров и преобразований таких как, например, шумоподавление, спектральный анализ. Отдельный интерес представляет исследование возможности сделать обработку полностью автоматической, так чтобы пользователю требовалось только указать тип эксперимента и начальные данные, которые могут быть постоянными в серии экспериментов.

В данной системе предусмотрена возможность расширения новыми способами и алгоритмами обработки экспериментов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. Б. Кискин

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Д. И. Сковородин

Новосибирский государственный университет

Разработка эффективных электродных материалов является одной из важных задач альтернативной энергетики. Для совершенствования этих материалов необходимо развивать методы их экспрессной диагностики в соответствии с современными требованиями к автоматизации и точности измерений. Для решения этой задачи разработана система автоматизации, предназначенная для исполнения различных экспериментальных программ: измерение температурной зависимости сопротивления полупроводников, исследование вольтамперных характеристик в гальваностатическом и потенциостатическом режимах, а также кондуктометрическое титрование.

Аппаратное обеспечение комплекса включает в себя персональный компьютер, промышленный температурный регулятор «Термодат», а также специально разработанное измерительно-питающее устройство «ИПУ-01». Программное обеспечение состоит из следующих частей: модуля логики управления экспериментом, модуля визуализации, модулей управления датчиками и контроллерами, системы управления базой данных.

Модуль логики управления, созданный при помощи SCADA системы LabVIEW, позволяет пользователю единообразно управлять экспериментами, проводимыми по различным сценариям с использованием различных наборов датчиков и контроллеров управления. Для создания экспериментальных сценариев используются готовые шаблоны. При проведении экспериментов все параметры шаблона и полученные результаты архивируются в базе данных.

Модуль управления каждым датчиком состоит из виртуальной передней панели прибора, разработанной в среде LabVIEW, а также драйвера, осуществляющего непосредственное управление прибором. Драйверы разработаны в среде MS Visual Studio и исполнены в виде отдельных динамически подключаемых библиотек (DLL).

Использование SCADA системы LabVIEW позволило создать удобные формы пользовательского интерфейса. Благодаря унификации разработанных DLL организован единый стиль работы с различными датчиками. Система автоматизации предусматривает возможность расширения функциональных возможностей созданной системы по мере подключения новых датчиков и разработки экспериментальных сценариев.

Научный руководитель – П. Г. Сафонов

ПОДДЕРЖКА СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ В СИСТЕМЕ ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ СЧЕТОВ

Т. Н. Степанова
Новосибирский государственный университет

Разработка программных систем, автоматизирующих бизнес-процессы крупных компаний, требует значительных трудозатрат. Целесообразно создать одну систему, удовлетворяющую запросам нескольких компаний, работающих в одной сфере. Однако у таких компаний часто существуют небольшие различия в требованиях, в том числе, к пользовательскому интерфейсу системы, которые к тому же могут довольно часто меняться. На поддержку специальных пользовательских интерфейсов, как правило, уходит много средств и времени, а также требуются специальные знания и инструменты.

Целью данной работы является разработка архитектуры элементов программной системы, позволяющих оптимально поддерживать специальные пользовательские интерфейсы и реализовать ее применительно к системе обработки медицинских счетов для страховых компаний.

Было принято решение разработать модуль, генерирующий пользовательский интерфейс на основе XML-файлов, хранящихся в базе данных. Файлы описывают некоторые логические части пользовательского интерфейса для каждой компании. При построении интерфейса система запрашивает у модуля необходимые части, соответствующие текущему пользователю, а затем связывает их с логикой приложения и данными.

Такой подход позволяет быстро модифицировать пользовательский интерфейс системы, редактируя XML-данные, при этом изменения не требуют переустановки системы и не затрагивают работу других компаний, а для поддержки необходимы только знания схемы описания пользовательского интерфейса и умения редактирования XML-данных.

В настоящий момент реализована основная функциональность модуля генерации пользовательского интерфейса с использованием технологии Microsoft .NET на языке C#. Во время разработки возникли проблемы с поддержкой некоторых элементов управления, которые были успешно решены, но продолжается работа над производительностью модуля. Ожидается, что для поддержки новой системы будет требоваться существенно меньше времени и средств, чем в аналогичных системах.

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

РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ СИСТЕМЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ

И. А. Чалов

Новосибирский государственный университет
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука
СО РАН

Среди методов электроразведки в последнее время все более широкое применение находит метод зондирования становлением в ближней зоне (ЗСБ). Его достоинством является то, что он позволяет относительно недорого и в короткие сроки провести исследования на больших территориях.

В Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН было разработано большое количество алгоритмов обработки данных ЗСБ. В данное время ведется активная работа по созданию современной интерпретационной системы, использующей наработки и подходы, накопленные институтом.

Настоящая работа посвящена разработке графического интерфейса, увеличивающего производительность работы интерпретатора. В связи с возросшими объемами обрабатываемых данных, геоэлектрические профили могут насчитывать сотни пикетов, при этом процесс их обработки зачастую требует выполнения большого количества рутинной работы. Наличие средств, упрощающих интерпретацию и оценку ее качества, существенно ускоряет трудоемкий процесс.

Для повышения эффективности работы интерпретатора к графическому интерфейсу предъявляются следующие основные требования: сведение работы в единое многофункциональное окно, позволяющее избежать индивидуального попикетного редактирования; возможность работать с частью профиля таким же образом, как и с целым, что облегчит работу, когда отдельные пикеты слишком малы при отображении полной картины профиля; отображение диаграмм *количественных* оценок качества подбора профиля для быстрого выявления мест, требующих более тонкого ручного подбора параметров среды. Так же в систему встроены модули интерактивного построения профилей из различных пикетов, построения геологической модели среды на основе геоэлектрического разреза. Реализован базовый графический интерфейс, визуализирующий профиль и позволяющий его интерактивное редактирование; возможность работы со стандартными геофизическими палитрами.

Научный руководитель – А. А. Власов

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОВЫШЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ПО СЕРИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

К. Ю. Черенкова, В. А. Куликов
Новосибирский государственный университет
Институт автоматике и электрометрии СО РАН

В последнее время приложения, работающие с последовательностью изображений, приобретают все более широкое распространение. Одной из задач является построение изображений более высокого разрешения из серии изображений с низким разрешением.

Решение этой задачи состоит из двух этапов: оценки дробного сдвига между дискретными взаимно смещенными изображениями и формирование изображения повышенного разрешения.

Для оценивания величины сдвига предлагается итерационный алгоритм, основанный на методе наименьших квадратов (МНК) и линейном тейлоровском разложении изображения[1].

В качестве способа задания значений на новой регулярной решетке предлагается подход, основанный на критерии оптимального линейного прогноза (ОЛП), использующем корреляционные зависимости между отсчетами всех выборов[2].

Разработанный и исследованный алгоритм восстановления изображения повышенного разрешения ориентирован на реализацию в системах реального времени, таких как обработка потокового видео. Для ускорения получения оценок сдвигов при добавлении нового изображения применяется рекуррентный пересчет всех сдвигов относительно вновь полученного. Оптимизация процедуры поиска интерполяционных коэффициентов состоит в выборе из окрестности только одного отсчета, ближайшего к восстанавливаемому, при этом уменьшается размерность матрицы корреляционных коэффициентов и ускоряется нахождение обратной к ней. Примененные оптимизации алгоритма позволяют вести обработку в реальном времени без существенной потери качества результирующего изображения.

1. В.А. Иванов, В.С. Киричук, В.П. Косых. Оценивание субпиксельного сдвига дискретных изображений. Автотметрия, 2007, т. 43, № 3. с. 15-30

2. Ivanov V.A., Kirichuk V.S., Kosykh V.P. Optimal Linear Prediction in Improving of a Set of Geometrically Transformed Aliased Images // Proc. 9-th Int. Conf. on Pattern Recognition and Image Analysis, September 14-20 2008, Nizhni Novgorod, RF, vol. 1, pp. 234-237.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. П. Косых

АНАЛИЗ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ С ПОМОЩЬЮ СРЕДЫ LABVIEW

А. Ю. Черномашенцев, Д. В. Ковальчук
Казанский государственный энергетический университет

Одним из наиболее перспективных методов контроля высоковольтных изоляторов, является метод на основе анализа ряда параметров частичных разрядов (ЧР) возникающих задолго до полного пробоя изоляции. Этот метод позволяет выявлять дефекты изоляции на самых ранних стадиях их возникновения, отслеживать их развитие, оценивать текущее состояние изоляции и возможность дальнейшей эксплуатации оборудования.

Разработанная система позволяет производить одновременное детектирование ЧР с помощью акустических и электромагнитных датчиков. Данные с датчиков будут заноситься в компьютер с помощью среды разработки виртуальных приборов LabVIEW 8.2. Применение разработанных программ позволит качественно отфильтровать сигнал с датчиков и получить более полную информацию об амплитуде, частоте следования, фазе возникновения и средней энергии частичных разрядов. Для компьютерного анализа данных предполагается использование вейвлет-преобразования сигнала ЧР. Вейвлеты – функции определенной формы, локализованные по оси аргументов. Одним из достоинств вейвлет-преобразования является возможность с гораздо более высокой точностью представлять быстроизменяющиеся особенности сигнала.

Наиболее важными характеристиками сигналов ЧР являются временные зависимости различных характеристик импульсов ЧР в пределах периода высокого напряжения. Именно, так называемые, “фазовые распределения” параметров ЧР позволяют в принципе определять тип источника сигналов ЧР. Наиболее точно фазовые распределения параметров ЧР можно осуществлять путем разбиения периода переменного напряжения на ряд временных интервалов. Накопление информации о частичном разряде позволит разработать математическую модель разрядов. Создание базы данных позволит описать развитие дефектов в изоляторах под действием частичных разрядов и прогнозировать дальнейшую безаварийную службу изолятора.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А.В. Голенищев-Кутузов

АЭРОФИЗИКА И НЕРАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В МИКРОКАНАЛАХ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИНЫ

К. В. Адаменко

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

Новосибирский государственный университет

В последние годы микрожидкостные системы получают все большее распространение во многих областях науки. Примерами использования микрожидкостных устройств могут являться биомедицинские приложения (химический анализ, анализ ДНК), процессы смешения и сепарации на микромасштабе, а также высокоэффективные системы охлаждения электронных компонентов. Для оптимизации дизайна устройств такого типа возникает необходимость детального изучения поведения жидкости на микроуровне.

Течение жидкости в прямолинейном микроканале обладает рядом особенностей, которые следует учитывать. Одной из важных характеристик течения жидкости на микроуровне является величина падения давления в микроканале. Она состоит из падения давления в областях входа и выхода микроканала, а так же падений давления в областях развивающегося и развитого течения жидкости. Наибольший интерес представляет область развитого течения. Но из-за сложности, а порой и невозможности измерить перепад давления в микроканале в области развитого течения, применяется метод использования двух и более микроканалов одинакового внутреннего диаметра, но различной длины. Использование двух микроканалов позволяет при одинаковом расходе жидкости исключить влияние концевых эффектов и вычислить гидравлический коэффициент сопротивления микроканала.

В данной работе определялся коэффициент гидравлического сопротивления микроканала в зависимости от числа Рейнольдса. Внутренний диаметр микроканалов равнялся 33,7 мкм. Эксперименты проводились с 4 микроканалами различной длины. В качестве рабочей жидкости использовалась деионизированная дегазированная вода. В результате был определен расход жидкости в зависимости от перепада давления жидкости на микроканалах и получены зависимости коэффициента гидравлического сопротивления микроканалов от числа Рейнольдса.

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

КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА ИНДИЯ В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ

А. Ш. Агажанов

Новосибирский государственный университет

В работе исследуется применимость метода лазерной вспышки [1], [2] для измерения коэффициента температуропроводности жидких металлов на примере жидкого индия. Работа проводилась на установке LFA 427.

В эксперименте передняя сторона ячейки нагревается коротким лазерным импульсом, после чего регистрируется температура на противоположной поверхности ячейки.

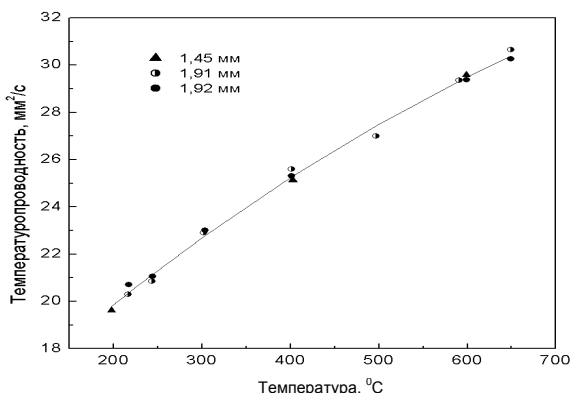


рис. 1.
Коэффициент температуропроводности жидкого индия,

Коэффициент температуропроводности вычисляется по временной зависимости этой температуры. Ячейки изготовлены из нержавеющей стали, температуропроводность которой была измерена в предварительном эксперименте.

Температуропроводность жидкого индия была измерена в интервале температур 200-700 °C в ячейках различной толщины. На рис. 1 приведены экспериментальные данные, полученные в экспериментах с разными ячейками. Из графика видно, что результаты хорошо согласуются друг с другом, максимальное отклонение не превышает 3%.

Список литературы:

1. Parker W.J., Jenkins R.J., Butler C.P., Abbott G.L. Flash method of determining thermal diffusivity, heat capacity, and thermal conductivity // J. Appl. Phys. – 1961. – Vol. 32, № 9. – P. 1679 – 1684.
2. Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. Справ. изд. - М.: Металлургия, 1989. - 384 с.

Научный руководитель – д.ф.-м. н. С.В. Станкус

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В МИКРОКАНАЛАХ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИНЫ

К. В. Адаменко

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

Новосибирский государственный университет

В последние годы микрожидкостные системы получают все большее распространение во многих областях науки. Примерами использования микрожидкостных устройств могут являться биомедицинские приложения (химический анализ, анализ ДНК), процессы смешения и сепарации на микромасштабе, а также высокоэффективные системы охлаждения электронных компонентов. Для оптимизации дизайна устройств такого типа возникает необходимость детального изучения поведения жидкости на микроуровне.

Течение жидкости в прямолинейном микроканале обладает рядом особенностей, которые следует учитывать. Одной из важных характеристик течения жидкости на микроуровне является величина падения давления в микроканале. Она состоит из падения давления в областях входа и выхода микроканала, а так же падений давления в областях развивающегося и развитого течения жидкости. Наибольший интерес представляет область развитого течения. Но из-за сложности, а порой и невозможности измерить перепад давления в микроканале в области развитого течения, применяется метод использования двух и более микроканалов одинакового внутреннего диаметра, но различной длины. Использование двух микроканалов позволяет при одинаковом расходе жидкости исключить влияние концевых эффектов и вычислить гидравлический коэффициент сопротивления микроканала.

В данной работе определялся коэффициент гидравлического сопротивления микроканала в зависимости от числа Рейнольдса. Внутренний диаметр микроканалов равнялся 33,7 мкм. Эксперименты проводились с 4 микроканалами различной длины. В качестве рабочей жидкости использовалась деионизированная дегазированная вода. В результате был определен расход жидкости в зависимости от перепада давления жидкости на микроканалах и получены зависимости коэффициента гидравлического сопротивления микроканалов от числа Рейнольдса.

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

ПЛОТНОСТЬ ПРИ ДЕТОНАЦИИ ТРУБЧАТОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

М. Ю. Андреев.

Новосибирский государственный университет

Данная работа посвящена исследованию распределения плотности при детонации полого цилиндрического заряда ТГ 50/50. Ранее при исследовании детонации полого цилиндрического заряда было отмечено образование газовой кумулятивной струи, распространяющейся внутри полости заряда со скоростью сильно превышающей скорость детонации. Данный эффект имеет практическое значение и применялся для ускорения твердых макрочастиц. Были предприняты попытки оценить скорость (~13 км/с) и плотность струи, также несколько работ рассматривали механизм образования струи методом численного моделирования.

Метод, основанный на просвечивании синхротронным излучением, позволяет напрямую, а не по косвенным параметрам, восстановить пространственное распределение плотности при детонации трубчатого заряда и определить параметры кумулятивной струи.

При просвечивании взрывающегося заряда лучом синхротронного излучения была получена рентгеновская тень. Предположение цилиндрической симметрии позволяет поставить задачу томографии и восстановить распределение плотности по тени с одного ракурса. Для этого использовался специализированный метод томографии.

Расчетная тень была построена с использованием геометрических параметров заряда и сплайн-аппроксимации плотности продуктов детонации.

Далее задача сводилась к поиску минимума функционала, состоящего из функции невязки расчетной и экспериментальной тени и стабилизирующего члена.

В результате восстановлено распределение плотности $\rho(r,t)$ продуктов детонации трубчатого цилиндрического заряда.

Научные руководители: канд. физ.-мат. наук, Э. Р. Прууэл, канд. техн. наук, проф. П.И. Зубков

ОСАЖДЕНИЕ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ПЛЁНОК

М. Н. Андреев, А. И. Сафонов
Институт теплофизики СО РАН

В настоящее время возрос интерес к получению и исследованию металлополимерных нанокомпозитов, что во многом определяется широкими возможностями их применения. Металлополимерный нанокомпозит представляет собой полимерную матрицу с инкапсулированными в ней наночастицами металла.

Опыт газоструйного осаждения тефлоноподобных плёнок, накопленный лабораторией разреженных газов института теплофизики, позволил осуществить процесс осаждения металлополимерных нанокомпозитов из полимера политетрафторэтилена и серебра на поверхности полированного кремния. Такие плёнки могут быть использованы в качестве антибактериальных покрытий, оптических фильтров, проводящих полимеров, поглотителей света, в частности, для солнечных элементов.

Предлагаемая методика осаждения состоит в получении плёнок из двух сталкивающихся под прямым углом газовых струй (мономера и металла) на подложках, закреплённых на вращающемся барабане. Струя мономера (в нашем случае тетрафторэтилена C_2F_4) формируется при выходе из сопла термического реактора продуктов разложения полимера (политетрафторэтилена) [1]. Источником паров металла (серебра) является специально разработанный высокотемпературный реактор, позволяющий поднимать температуру до $1100^{\circ}C$. Пары серебра смешиваются в реакторе с подогретым газом аргоном и совместно расширяются через сверхзвуковое сопло в вакуумную камеру.

Результатом исследований является получение металлополимера, состоящего из наночастиц серебра размером около 10 нм, заключённых в матрицу из политетрафторэтилена. Известно, что металлополимер, состоящий из серебряных наночастиц указанного размера, обладает высокой антибактериальной активностью [2].

1. Ребров А. К., Тимошенко Н. И., Шишкин А. В. Осаждение тонких тефлоноподобных плёнок из сверхзвуковой струи C_2F_4 в вакууме // ДАН. 2004. Т. 399, №6. С.766-770.

2. Elechiguerra J. L., Burt J. L., Morones J. R., Camacho-Bradago A., Gao X., Lara H. H., Yacaman M. J. Interaction of silver nanoparticles with HIV-1 // Нанотехнология и наноматериалы для биологии и медицины. 2007. Ч.2. С.127-146.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, акад. РАН А. К.Ребров

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ НАГРЕВЕ ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ

О. А. Булгакова

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

Нанокристаллические тонкопленочные технологии являются перспективным направлением развития приборов на основе бинарных полупроводников [1]. Для напыления нанокристаллических пленок сложных материалов успешно используется техника импульсной лазерной абляции (ИЛА). Кроме того, ИЛА является мощным инструментом для точной и бережной микрообработки материалов, в том числе, сложных полупроводников [2]. Большое внимание уделяется исследованию воздействия лазерного излучения на изменение химического состава поверхности при ИЛА. К настоящему времени накоплен большой опыт теоретических исследований динамики лазерно-индуцированных процессов в классических полупроводниках. Теоретическому же моделированию поведения сложных полупроводников под действием лазерного излучения уделяется мало внимания [3], несмотря на интенсивные экспериментальные исследования.

В данной работе на примере теллурида кадмия представлена модель для изучения процессов, протекающих в сложных полупроводниках при поглощении лазерного излучения и приводящих к модификации состава поверхности, плавлению и испарению облучаемого материала. Выполнено моделирование облучения мишеней CdTe импульсами KrF лазера в широком диапазоне интенсивностей импульса (от порога плавления до развитой абляции и формирования плазмы в парах) в режимах одно- и многоимпульсных воздействий. Результаты моделирования анализируются на основе сравнения с экспериментальными данными.

1. W. P. Shen, H. S. Kwok, Crystalline phases of II-VI compound semiconductors grown by pulsed-laser deposition, Appl. Phys. Lett. 65, 2162 (1994).

2. M. Couillard, A. Borowiec, H. K. Haugen, J. S. Preston, E. M. Griswold, G. A. Botton, Subsurface modifications in indium phosphide induced by single and multiple femtosecond laser pulses: A study on the formation of periodic ripples, J. Appl. Phys. 101, . 033519 (2007).

3. S. P. Zhvavyi, G. L. Zykov, Simulation of dynamics of phase transitions in CdTe by pulsed laser irradiation, Appl. Surf. Sci. 253, 586 (2006).

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук Н. М. Булгакова, д-р физ.-мат. наук В. П. Жуков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСАЖДЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ТЕЧЕНИИ СУСПЕНЗИИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

А. С. Буткеев

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

Явление захвата пористой средой частиц, взвешенных в потоке жидкостей, необходимо учитывать при решении многих практических задач. К ним относятся вопросы очистки жидкостей путем фильтрования, процессы отложения глинистых частиц фильтрата бурового раствора на поверхности скважин и прискважинной зоне.

Целью представленной работы является экспериментальное исследование течения водной суспензии через пористую среду.

Экспериментальный стенд представлял собой модель пористой среды, представляющую собой уплотненную засыпку из стеклянных шариков размером 1.1мм, через которую протекала суспензия с малым объемным содержанием твердых частиц. Засыпка представляла собой стеклянную трубку длиной 363 мм. Были приготовлены два вида суспензий: суспензия с 2,5% объемным содержанием твердой фазы-бентонита и такой же суспензии с добавлением 1% монодисперсных частиц кварца. Вязкость приготовленных суспензий существенно превышала вязкость воды ($\approx 16\text{сПз}$) вследствие большого содержания частиц коллоидного размера ($d_c < 2\text{ мкм}$).

В результате проведенных экспериментов получены данные по динамике изменения скорости фильтрации суспензии от времени при постоянном перепаде давления, определенно изменение содержания твердой фазы на выходе из пористой среды. Показано влияние твердых частиц на фильтрационные свойства пористой среды.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук В. В. Кузнецов, канд. физ.-мат. наук С. В. Димов

СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОЖИДКОСТИ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБ И ВОДЫ

И. Д. Ватник

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

В настоящее время, в связи с развитием технологий с большой плотностью энергии (атомная энергетика, космические летательные аппараты, лазеры, высокопроизводительные вычислительные системы), проблемой является создание эффективных охлаждающих систем и управление большими тепловыми потоками. Один из способов интенсификации теплообмена заключается в увеличении теплопроводности носителя, например, путем добавления в жидкость наночастиц с высокой теплопроводностью. Одним из перспективных кандидатов являются однослойные углеродные нанотрубы, обладающие теплопроводностью, сопоставимой или даже превышающей теплопроводность алмаза.

На данный момент разработаны методы синтеза наножидкостей на основе углеродных нанотруб и измерены их некоторые теплофизические характеристики [1]. Однако результаты имеют значительный разброс [2]. Кроме того, существует проблема создания устойчивой наножидкости, что связано с процессами коагуляции гидрофобных наночастиц, к которым относятся и углеродные нанотрубы.

В настоящих экспериментах использовались углеродные однослойные нанотрубы фирмы “Carbolex” (США). Для создания устойчивой наножидкости углеродные нанотрубы модифицировались методом кипячения в азотной кислоте с последующими процедурами высушивания и растворения в дистиллированной, обезгаженной воде с использованием ультразвуковой бани. Для измерения спектров поглощения использовался широкополосный светодиодный источник света и широкополосный спектрограф. Измерен спектр поглощения в видимой области спектра. Исследовано влияние внешних электрических полей на спектры поглощения для различной поляризации электромагнитной волны относительно направления статического электрического поля.

1. S. Lee, U. S. Choi, S. Li, and J. A. Eastman, ASME J. Heat Transfer 121, 280 (1999).

2. Yu W., France D., Routbort J., Choi S. Review and Comparison of Nanofluid Thermal Conductivity and Heat Transfer Enhancements. Heat Transfer Engineering, 29(5):432-460 (2008).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОУДАРА ПРИ КОНТАКТЕ ПАРА И ЖИДКОСТИ В ТРУБЕ

Г. В. Власов

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

При возникновении аварийных ситуаций в энергетических установках, могут возникать ситуации, когда в паропроводы попадает вода с низкой температурой, что приводит к быстрой конденсации пара. При этом может создаваться разрежение вызывающее ускорение жидкости. В результате на некоторых участках трубопровода возникают гидроударные явления. В этих участках может произойти разрыв. Для предотвращения этого необходимо точно знать какие нагрузки может выдерживать трубопровод. Этим обусловлен интерес к исследованию процессов возникающих при контакте пара с жидкостью.

Целью работы является исследование пульсаций давления возникающих при конденсации пара в трубе при контакте с холодной жидкостью. Установка состоит из двух объемов разделенных диафрагмой. Первый объем содержит водяной пар при температуре 100-102 °С. Он представляет собой стеклянную трубу с внутренним диаметром 20 мм. и длиной 300 мм. Пар поступает в объем из парогенератора. Статическое давление в объеме пара и жидкости контролируется тензодатчиком давления. Второй объем содержит воду. Температура воды устанавливалась постоянной при помощи термостата и контролировалась термопарой в диапазоне 35-95 °С. Объем с водой представляет собой U-образную трубку. Такая форма является типичной для трубопроводов используемых в энергетических установках. После раскрытия диафрагмы жидкость входит в контакт с паром и происходит его конденсация. При конденсации пара в трубе происходит ускорение жидкости. Дальнейшее ее торможение на торце парового объема приводит к возникновению гидроудара. Амплитуда гидроудара регистрировалась пьезоэлектрическим датчиком давления который находился на торце первого объема. Результаты измерений сохранялись на компьютере при помощи АЦП. Кроме того, процесс конденсации пара записывался скоростной видеокамерой со скоростью 1000 кадров/с.

В работе была измерена скорость движения жидкости в паровом объеме и амплитуда гидроудара.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, М. В. Алексеев

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ВОДОРОД-КИСЛОРОДНОЙ СМЕСИ В ПЕРЕГРЕТОМ ПАРЕ

И. С. Вожаков

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

Ввиду нарастающей энергетической проблемы, все более актуальными становятся исследования направленные на увеличение эффективности того или иного источника энергии. В данной работе рассмотрено горение водород кислородной смеси в перегретом паре в металлическом Высокотемпературном Водородном Перегревателе Пара (ВВП) [1].

Целью экспериментальной работы было исследование полноты сгорания водород-кислородной смеси и выявление доли несгоревшего (неконденсирующегося) газа в потоке высокотемпературного пара на выходе из ВВП, проведение химического анализа несгоревшей смеси газов, проведение исследований о самовозгорании горючей смеси внутри ВВП при внезапном срыве пламени.

Лабораторный стенд состоит нескольких крупных систем, таких как: система подачи пара, системы подачи горючей смеси, термостабилизации и огнезащиты горючей смеси, сменного рабочего участка ВВП, системы конденсации высокотемпературного пара и сепарации не сгоревшего газа, системы регистрации массы конденсата и объема не сгоревшего газ, аналогово-цифровой системы регистрации параметров на лабораторном стенде.

В ходе эксперимента было установлено, что при увеличении доли горючей смеси температура пара растет, а количество несгоревшей смеси падает. Были найдены параметры, при которых происходит самовозгорание горючей смеси. Хроматографический анализ газов, выходящих из ВВП, показал, что не сгоревшие газы схожи по составу с горючей смесью, т.е. водород и кислород соотносятся 2:1. Проведение исследований в широком диапазоне изменений расходов пара и горючей смеси позволило выявить новые режимы горения горючей смеси в потоке пара, не замеченные ранее в предыдущих исследованиях.

1. О. О. Мильман, Н. А. Прибатурин, В. А. Федоров. Теплофизические проблемы создания комбинированных электрогенерирующих установок с турбинными энергоблоками // Труды четвертой РНКТ, Москва, 2006 г.

Научный руководитель – д.т.н. Н. А. Прибатурин

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ГРАФИТА В РЕЖИМАХ ПЛАЗМООБРАЗОВАНИЯ И ФАЗОВОГО ВЗРЫВА

А. Б. Евтушенко

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

Глубокая абляция материалов с помощью мощных импульсных лазеров представляет большой интерес с точки зрения изучения поведения вещества в экстремальных условиях, а также для ряда приложений, таких как прецизионная обработка поверхности и синтез наноматериалов. При воздействии мощных импульсов над облучаемой мишенью формируется абляционная плазма, которая сама поглощает излучение и, таким образом, меняет энергетические характеристики падающего на поверхность потока энергии. При достаточно высоких интенсивностях излучения вещество может нагреваться до температур, близких к критической, и может реализовываться специфический режим абляции – фазовый взрыв. Режим фазового взрыва и роль приповерхностной плазмы в процессе глубокой лазерной абляции остаются еще слабоизученными.

В работе на примере графита изучен процесс абляции в вакууме под действием наносекундных лазерных импульсов ИК (1064 нм) и видимого (532 нм) диапазонов. Исследования выполнены в диапазоне интенсивности излучения 1–50 Вт/см² с применением различных экспериментальных методик – весовых измерений испаренной за импульс массы, измерения оптико-акустического отклика мишени и измерения угловых распределений разлета продуктов абляции. Анализ нагрева и испарения графита для экспериментальных условий облучения проведен с использованием тепловой модели абляции с учетом поглощения излучения в приповерхностной плазме.

В области интенсивностей 1–10 Вт/см² наблюдается плавное увеличение глубины абляции, которое хорошо описывается тепловым механизмом. Акустический сигнал при этом коррелирует с весовыми измерениями. При больших интенсивностях (10–20 Вт/см²) происходит насыщение роста глубины абляции вследствие поглощения части лазерного излучения плазмой. При интенсивности ~20 Вт/см² (для обеих длин волн) наблюдается резкое увеличение глубины абляции, связанное с переходом к режиму фазового взрыва. С помощью тепловой модели оценены параметры графита при приближении к порогу фазового взрыва, величины подповерхностных перегревов, а также параметры абляционной плазмы (степень ионизации и температура).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 08-08-00756).

Научный руководитель – доктор физ.-мат. наук А. В. Булгаков

ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СМЕСЕЙ ПРИ ДИФфуЗИОННОМ РАЗДЕЛЕНИИ ГАЗОВ С ПОМОЩЬЮ ЦЕНОСФЕР

И.В. Казанин**, А.Ю. Пак*

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

**Новосибирский государственный университет

Во многих практических приложениях имеется необходимость измерения параметров двух- и более компонентных смесей газов, различающихся термодинамическими характеристиками. Одним из распространенных и наиболее простых методов исследования характеристик смесей является термоанемометрический метод. В основе этого метода лежит теплообмен нагретого чувствительного элемента и среды, в которую он помещен [1]. Изменение состава газовой смеси влияет на теплообмен, что и положено в основу создания датчика концентрации.

Гелий является незаменимым материалом, обеспечивающим работу многих высокотехнологичных производств, научной и медицинской техники, подводные работы и др. Обычно в промышленности гелий производится криогенным способом из природного газа. Однако при этом актуальным представляется также разработка новых некриогенных способов выделения гелия, более экономичных с точки зрения стоимости и эффективности процесса. Известно, что полые стеклянные микросферы (ценосферы), при определенных условиях, могут использоваться для поглощения гелия из газовых смесей (в частности, из природного газа) [2].

В ИТПМ СО РАН разработан специальный датчик с протоком для измерения среднего значения концентрации в смесях газов. В качестве чувствительного элемента используется вольфрамовая нить.

Целью данной работы является изучение с помощью созданного датчика изменения концентрации гелия при использовании для разделения газов стеклянных микросферных частиц. Исследование проводится на примере гелий-воздушной смеси. Предлагаемый подход может быть применим также и для других типов смесей. На данном этапе проведены тарировки датчика и выполнены эксперименты по исследованию динамики газовых смесей в емкости с полыми стеклянными микросферами.

1. Лебига В.А. Термоанемометрия в сжимаемых потоках. Новосибирск. 1997.

2. Аншиц А.Г., Верещагин А.С., Верещагин С.Н., Долгушев С.В., Фомин В.М.. Некриогенный метод получения гелия из природного газа// Технологии ТЭК. – 2004. - № 12. – С. 89 – 95.

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

ЭВОЛЮЦИЯ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЕ ЖИДКОСТЬ-ПАР

Д. И. Качулин

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

Во многих задачах энергетики возникают аварийные и нештатные ситуации, когда приходят в соприкосновение массивы холодной жидкости и горячего пара. При внезапном контакте холодной жидкости и горячего пара происходит интенсивный процесс конденсации и образование волны разрежения [1]. Распространению импульса разрежения сопутствуют нестационарные межфазный поток тепла и массовый поток пара к поверхности жидкости. Ранее для описания кинетики фазового перехода использовалась линейная формула Герца-Кнудсена-Ленгмюра.

Изучение формирования возмущения и эволюции сигнала при большом перепаде температур пара и жидкости, а также процессов испарения при распространении сигнала в насыщенном влажном паре с микрокаплями остаются неисследованными проблемами.

В работе решена одномерная задача образования и эволюции волны давления при мгновенном контакте пара с холодной жидкостью. Так как для определения массового потока при интенсивной конденсации необходимо детально моделировать процессы в слое Кнудсена, в данной работе была использована формула, предложенная в [2], учитывающая нелинейность в определении массового потока. Уравнения распространения возмущений решены приведением к системе характеристических уравнений газовой динамики, а также прямым численным интегрированием полной системы движения сплошной среды. Исследовано влияние параметров на форму возмущения давления. Обнаружено, что увеличение времени раскрытия диафрагмы и уменьшение коэффициента аккомодации приводит к уменьшению амплитуды волны разрежения. Рассмотрены процессы испарения при распространении сигнала во влажном паре при различных значениях содержания паров.

1. Лежнин С.И., Прибатурин Н.А., Сорокин А.Л. Моделирование эволюции давления и температуры при внезапном контакте холодной воды и насыщенного пара // Труды XXVII-го Сибирского теплофизического семинара, 12-14 октября 2005, статья №074. CD.

2. Лабунцов Д.А., Ягов .В.В., Крюков А.П. Основы механики двухфазных систем. – М: Издательство МЭИ, 1988. 76 с.

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

УПРАВЛЕНИЕ ВОЗМУЩЕНИЯМИ В ГИПЕРЗВУКОВЫХ УДАРНЫХ СЛОЯХ

С. В. Кириловский

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

Новосибирский государственный университет

При полете гиперзвукового летательного аппарата в верхних слоях атмосферы, течение газа вблизи передних кромок будет происходить в режиме вязкого ударного слоя (ВУС). Возмущения, формирующиеся в ВУС, распространяются вниз по потоку и оказывают влияние на развитие волн неустойчивости и ламинарно-турбулентный переход в пограничном слое (ПС) всего летательного аппарата. От состояния ПС существенно зависят аэродинамические характеристики аппарата, его сопротивление трения, величина и распределение тепловых потоков на поверхности аппарата.

Воздействие на процесс возбуждения возмущений в ВУС является одним из возможных методов управления ламинарно-турбулентным переходом при гиперзвуковом полете. В настоящее время проблема управления возмущениями исследовалась только для ПС при числах Маха < 6 . В данной работе приведены результаты исследования процесса управления возмущениями в гиперзвуковом ВУС на пластине при числах Маха > 10 .

Методом прямого численного моделирования (ПЧМ) решалась задача о взаимодействии ВУС с внешними акустическими возмущениями [1], распространяющимися вдоль направления потока, и возмущениями типа “вдвух-отсос”, вводимыми в ударный слой с поверхности модели. Исходя из результатов исследований восприимчивости к внешним акустическим волнам, в [2] для гиперзвукового ВУС был успешно применён интерференционный метод управления возмущениями. В настоящей работе мы продолжаем исследование данной задачи. Численно моделируется восприимчивость ВУС на пластине при нулевом угле атаки, числах Маха потока $M_\infty = 12-21$ и единичном числе Рейнольдса $Re_{1\infty} = 6 \times 10^5 \text{ м}^{-1}$; возмущения, возникающие в ВУС под действием падающих на него акустических волн, подавляются противофазными возмущениями от источника вдвух-отсос.

-
1. Кириловский С.В. Сборник тезисов МНСК 2008, С. 82-83.
 2. Фомин В. М. & др., ДАН, 414(2), 1-4 (2007).

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

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА В ПЛАЗМООБРАЗУЮЩИХ ГАЗАХ НА СВОЙСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В ПЛАЗМОТРОНЕ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

А. А. Лавриненко

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

Работа направлена на экспериментальное исследование зависимости свойств электрической дуги, горящей в цилиндрическом канале и замкнутой на расплавленные металлические электроды, от концентрации водорода в смеси плазмообразующего газа.

Несмотря на большой интерес к использованию водорода в плазменных технологиях в качестве высокоэнтальпийного газа, экспериментальные сведения о параметрах дугового разряда в водороде и количество моделей горения дуги в водородсодержащих средах ограничены, особенно при больших расходах и мощностях, поэтому разработка электродуговых генераторов водородной плазмы связана с большими трудностями.

Цель представленной работы - выявить особенности дугового разряда, горящего в потоке водородсодержащих смесей в плазмотроне с жидкометаллическими электродами, изучить, как влияет геометрия плазмотрона, концентрация водорода в смеси и расход на характеристики дуги в плазмотроне с жидкометаллическими электродами, исследовать процессы, сопровождающие горение дуги в водородсодержащих средах.

Экспериментальные исследования выполнены в плазмотроне с жидкометаллическими электродами. В данном плазмотроне решена проблема эрозии электродов, что позволяет использовать такие химически активные плазмообразующие газы, как водород и аммиак, и наращивать большие мощности. В качестве плазмообразующего газа использовались смесь азота с водородом и аммиак.

В работе получены результаты экспериментальных исследований вольтамперных характеристик дуги плазмотрона с жидкометаллическими электродами в зависимости от расхода и вида плазмообразующего газа. Приведены вольтамперные характеристики для различной концентрации водорода в смеси плазмообразующего газа. Показано, что при увеличении концентрации водорода в смеси плазмообразующего газа возрастает напряжение дуги. Увеличение расхода плазмообразующего газа также ведёт к увеличению напряжения на дуге.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН, М. Р. Предтеченский

СВЕРХЗВУКОВОЙ ПИРОЛИТИЧЕСКИЙ РЕАКТОР

К. А. Ломанович

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

Природный газ, так же как нефть и уголь, является не только одним из основных видов топлива в мире, но и углеводородным сырьем для производства полимеров. Основная часть (до 98%) природного газа состоит из метана. Однако молекулы метана очень стабильны и возникает потребность в его конверсии, и, таким образом, задача сводится к отысканию способа его эффективной переработки.

Существующие методы, такие как электродуговые и плазмохимические, недостаточно эффективны, их КПД не превышает 30% по затраченной энергии.

Описываемый в настоящей работе пиролизический метод отличен от существующих и определен такими условиями, как минимальная и максимальная температуры потока, а так же необходимостью быстрого ($\sim 10^{11}$ К/с) и равномерного разогрева рабочего газа со следующим за ним столь же быстрым ($\sim 10^9$ К/с) охлаждением – условиями, определяющими сверхзвуковой режим работы пиролизического реактора. Энергия подводится в поток при помощи электрического разряда.

Для исследования метода и определения оптимальных режимов работы реактора была создана экспериментальная установка «Поток-3».

- Исследованы режимы работы установки с соплом, обеспечивающим число Маха $M=3,5$.
- При помощи скоростной теневой съемки регистрировалось истечение сверхзвуковой струи в свободное пространство, процесс формирования ударно-волнового фронта вблизи поверхности устанавливаемой симметричной преграды. Обнаружены колебания фронта ударной волны.
- В процессе экспериментов из рабочей части реактора осуществлялся забор проб переработанного газа при различных режимах электрического разряда в потоке. Анализ проводился методом хроматографии.

1. Патент РФ №2222569. Фомин В.М., Пармон В.Н., Фомичев В.П. и др. "Способ проведения газофазных реакций". Приоритет от 08.04.2002.

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

ВЛИЯНИЕ ДОРОЖКИ КАРМАНА НА ВОЗМУШЕНИЯ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

М. В. Михаэлис

Институт теоретической и прикладной механики СО РАН
Новосибирский государственный университет

Обнаружено, что след за тонкой нитью при определенных скоростях и углах атаки влияет на течение в пограничном слое прямого крыла. Были проведены опыты с доказательством данного эффекта при разных скоростях набегающего потока и разных углах атаки модели крыла. Оказалось, что, если перед крылом в набегающем потоке создать генератор дорожки Кармана, то она в определенных диапазонах скоростей потока и углов атаки крыла способна преобразовывать течение от срывного к присоединенному.

Для доказательства этого эффекта были проведены визуализации и термоанемометрии при различных скоростях и углах атаки. Для получения дорожки Кармана использовались нити различной толщины. Целью проведения опытов было наблюдение влияния следа за нитью на отрыв и присоединение потока. Также было определено, что влияние дорожки зависит от расстояния от нити до поверхности крыла.

В результате проведения эксперимента так же было установлено, что эффект присоединения потока зависит от скорости потока, угла атаки и толщины нити, в то же время зависимость от расстояния между нитью и кромкой крыла не выявлена (в том диапазоне расстояний, в котором проводилась серия экспериментов) – при всех расстояниях между нитью и моделью, вплоть до больших- расстояний (450 калибров), происходило присоединение потока.

1. А.В. Бойко Г.Р.Грек А.В. Довгаль В.В.Козлов Возникновение турбулентности в пристенных течениях, ИТПМ СО РАН

2. Boiko, A.V., Dovgal, A.V., Kozlov, V.V. 1991 Effects of laminar-turbulent transition in separation bubble. Separated Flows and Jets, pp. 565-572

Научный руководитель – д.т.н., проф. Б. Ю. Занин

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ТЕРМОМЕТРИИ В УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ ГАЗОАНАЛИЗА

Д. В. Петров

Томский государственный университет

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

В настоящее время все большую актуальность приобретают вопросы контроля загрязнения воздушной среды техногенными газами и связанные с этим ухудшение экологической обстановки и изменение климато-метеорологических параметров атмосферы. Для осуществления исследований в этом направлении посредством организации мониторинга происходящих процессов необходимо создание новых методов и устройств, обеспечивающих комплексный, автоматический контроль газовых загрязнений атмосферы. Разработка новых приборов для газоанализа и измерения метеорологических параметров атмосферы требуется также для обеспечения решения задач, возникающих в различных других областях науки и техники: исследование распространения лазерного излучения в атмосфере, контроль технологических процессов в химических, металлургических и энергетических производствах, обеспечение действий оперативных подразделений МЧС при ликвидации последствий техногенных аварий и пр.

В работе рассматривается новый способ газового анализа, основанный на использовании метода акустической термометрии, который заключается в использовании известной зависимости скорости распространения звуковых колебаний в газовой среде от ее температуры.

В основе разрабатываемого промышленного газоанализатора лежит метод оптико-акустической спектроскопии. При этом, для определения величины поглощенной газом энергии оптического излучения регистрируется не периодическое изменение давления газа в измерительной кювете (как в промышленных газоанализаторах серии ГИАМ), а изменение его температуры, которое измеряется методом акустической термометрии.

Ожидается, что данный газоанализатор, обладая достаточно высокой точностью определения концентрации газа, не будет подвержен влиянию внешних акустических шумов и вибрационных воздействий, а также будет отличаться простотой и удобством в эксплуатации, иметь сравнительно небольшие размеры и стоимость.

Научный руководитель – канд. техн. наук В. А. Корольков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РЕКОМБИНАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА В ВОДОРОДЕ

В. А. Пинаев
Институт теплофизики СО РАН

Изучение оптических свойств газового разряда представляет собой довольно сложную задачу ввиду множества элементарных процессов, вызывающих свечение разрядной области. Помещение же разряда во внешнее продольное магнитное поле вызывает возникновение дополнительных механизмов, ведущих к изменению структуры[1], размеров и как следствие светимости тлеющего заряда[2].

Поэтому, в качестве разрядного газа, был выбран водород, для атома которого возможно рассчитать энергетические уровни и интенсивность рекомбинационного излучения прямыми квантово-механическими вычислениями. Низкое давление газа (5-20 Па) необходимо для большей точности в измерении плотности ионов, которая определялась с помощью двухзондовой вольтамперной характеристики (ВАХ), через ионные токи насыщения. Также с помощью ВАХ определялась температура электронов. Плотность и температура электронов являются основными параметрами для расчёта интенсивности излучения в процессе рекомбинации.

Целью данной работы являлось получение и сравнение рассчитанных и экспериментально полученных характеристик, описывающих поведение относительной интенсивности рекомбинационного излучения, на длине волны λ , в зависимости от величины наложенного магнитного поля. Измерения проводились в области отрицательного свечения и тёмного фарадеева пространства тлеющего разряда.

1. Васильева И.А., Грановский В.Л.. Влияние магнитного поля на диффузию ионов в стационарной плазме в гелии //Радиотехника и электроника. 1959. № 12. С. 251.

3. Рохлин Г.Н. Влияние магнитного поля на излучение ртутного разряда //ЖЭТФ. 1939. Т. 9, № 7. С. 804.

Научный руководитель – канд. техн. наук И. М. Уланов

ДЕТОНАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НИЗКОСКОРОСТНЫХ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВВ

С. И. Рафейчик

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

Рассматриваются низкоскоростные эмульсионные ВВ (ЭмВВ) на основе высокодисперсной эмульсии, которые можно использовать для взрывной обработки материалов, например, для сварки взрывом. Достоинства эмульсионных ВВ: не содержат потенциально опасных бризантных ВВ, отличаются низкой чувствительностью к механическим и тепловым воздействиям наряду с хорошей восприимчивостью к детонации, низкой газовой вредностью.

Цель работы состояла в уменьшении предельной скорости детонации D_i эмульсионного ВВ до $2 \div 3$ км/с, что необходимо для реализации режима сварки взрывом в параллельной схеме.

Изменение скорости детонации ЭмВВ при сохранении достаточно высокой детонационной способности достигалось путём добавления в состав исходной эмульсии полых стеклянных микросфер диаметром ≈ 60 мкм. Насыпная плотность используемых микросфер около $0,15$ г/см³. Определялись зависимости скорости детонации для цилиндрических и плоских зарядов от диаметра d или толщины Δ ЭмВВ при различном количестве сенсибилизатора, а также критический диаметр d_{cr} и критическая толщина Δ_{cr} .

Предельная скорость детонации D_i уменьшается при увеличении массового количества микросфер μ : для составов, содержащих $\mu = 5\%$ и 8% микробаллонов по массе, $D_i = 4,8$ и $5,5$ км/с соответственно, а при $\mu = 50\%$ $D_i = 2,1$ км/с, $D_{cr} = 1,8$ км/с, $d_{cr} \approx 13,5$ мм, $\Delta_{cr} \approx 12$ мм – для зарядов в тонкостенной оболочке из пластика.

При увеличении степени неоднородности ЭмВВ за счет увеличения μ отношение d_{cr} / Δ_{cr} уменьшается: при $\mu = 8\%$ оно равно $2,4$, а при $\mu = 50\%$ – около $1,1$. Этот результат представляется достаточно неожиданным, так как для большинства индивидуальных ВВ это отношение находится в диапазоне $2 \div 4$.

Также установлено, что при изменении μ от 5 до 50% $d_{cr} = 2 \div 13,5$ мм, что существенно меньше, чем для других низкоскоростных ВВ, кроме того наблюдается очень слабая зависимость $D = f(d | \Delta)$ при увеличении размера заряда от критических значений до ≈ 5 см.

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

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ СПИНОВОЙ ДЕТОНАЦИИ ПРИ СВЕРХЗВУКОВОЙ СКОРОСТИ ПОТОКА

А. И. Рыбников

Новосибирский государственный университет

В качестве альтернативы традиционному сжиганию топлив в турбулентном пламени рассматривается детонационный способ их сжигания в поперечных детонационных волнах (ПДВ), впервые реализованного Б.В. Войцеховским [1]. К настоящему времени в Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева реализованы и исследованы [2] режимы с непрерывно вращающейся детонационной волной в кольцевых камерах сгорания различной геометрии при дозвуковой скорости подачи окислителя. Возникнул вопрос о возможности распространения принципа непрерывно вращающейся детонации на прямоточные воздушно-реактивные двигатели (ПВРД) со сверхзвуковой (число Маха $M_0 > 1$) скоростью натекающего потока.

В работе рассмотрено обобщение постановки задачи о детонационном сжигании водородо-кислородной смеси в проточной кольцевой камере [3] на случай предварительного сжатия натекающего сверхзвукового потока в диффузоре. Численно показана возможность реализации при сверхзвуковой ($1 < M_0 \leq 3$) скорости потока на входе в диффузор непрерывной спиновой детонации, исследована структура ПДВ и область их существования в зависимости от числа Маха потока. Установлено, что с увеличением степени сжатия сверхзвукового потока в диффузоре растет удельный импульс, приближаясь к аналогичной величине для идеального ПВРД. Обнаружено ограничение сверху на число Маха натекающего сверхзвукового потока $M_0 < 0.6 \cdot M_{CJ}$, при котором реализуется режим непрерывной спиновой детонации. Здесь M_{CJ} – число Маха волны детонации Чепмена-Жуге.

1. Б.В. Войцеховский, Стационарная детонация. ДАН СССР, Т. 129, № 6, С. 1254-1256. (1959).

2. F.A. Bykovskii, S.A. Zhdan and E.F. Vedernikov, Continuous Spin Detonations. J. of Propulsion and Power, V. 22, No. 6, P. 1204 – 1216 (2006).

3. Ждан С. А. Математическое моделирование непрерывной спиновой детонации в кольцевой камере сгорания при сверхзвуковой скорости потока. Физика горения и взрыва, Т. 44, № 6, с. 83-91 (2008).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. А. Ждан

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНОГО РАЗРЫВА СТЕКАЮЩЕЙ ПЛЕНКИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

А. А. Семенов

Институт теплофизики СО РАН

В работе [1] впервые было обнаружено формирование струйного течения в волновой пленке жидкости ($Re > 6$) на нагревателе «средних размеров» 150x150 мм. В [2] было установлено, что разрыв пленки происходит в 2 этапа: 1) постепенное утоньшение пленки жидкости между струями под действием термокапиллярных сил в поперечном направлении в процессе увеличения теплового потока, и 2) внезапный разрыв пленки при достижении некоторой критической толщины. Основной задачей данной работы является измерение данной критической толщины, а также порогового теплового потока, при котором происходит разрыв пленки, для вязкой жидкости (этиленгликоль) в зависимости от расхода жидкости и угла наклона пластины.

Экспериментальная установка представляет собой замкнутый циркуляционный контур. Рабочая жидкость (этиленгликоль) с помощью насоса через систему ротаметров подается в пленкоформирователь. Жидкость, стекая по рабочему участку, проходит по нагревателю размером 150x150 мм, накапливается в приемнике жидкости и под действием гравитации возвращается в систему. Детальное описание рабочего участка приведено в работах [1-2].

Для измерения толщины пленки жидкости использовался волоконно-оптический датчик, который устанавливался со стороны свободной границы пленки. Измерения проводились в области нижней кромки нагревателя. Точка измерений выбиралась так, чтобы после формирования струй она лежала в области тонкой пленки между струями. Подробно устройство датчика и методика измерений изложены в [2].

Установлено, что вязкость жидкости оказывает существенное влияние на пороговый тепловой поток для разрыва пленки, на критическую толщину в точке разрыва, а также на длину волны между струями.

1. Chinnov E.A., Kabov O.A., Marchuk I.V., Zaitsev D.V. Heat transfer and breakdown of subcooled falling liquid film on a vertical middle size heater// Int. J. Heat Technol. 2002. Vol. 20. N 1. P. 69-78.

2. Zaitsev D.V. and Kabov O.A. Study of the thermocapillary effect on a wavy falling film using a fiber optical thickness probe.//Experiments in Fluids, Vol39, No4, pp.712-721, 2005.

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ СЕТЧАТОГО ПЛОСКОГО ЭКРАНА ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОГО СВЕРХЗВУКОВОМУ ПОТОКУ

К. М. Сердюк

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

Важной научной задачей современной аэродинамики является задача управления волновым сопротивлением тел, движущихся со сверхзвуковой скоростью в верхних слоях атмосферы. В настоящее время известен ряд эффективных методов управления волновым сопротивлением, которые имеют свои преимущества и недостатки. Новым методом управления является использование газопроницаемых экранов и материалов, располагаемых в потоке перед телом. Первые результаты исследований в этом направлении были описаны в работе [1], где была продемонстрирована возможность существенного уменьшения этим методом волнового сопротивления тупых тел в сверхзвуковом потоке. Тем не менее, пока еще не ясны газодинамические процессы, приводящие к снижению волнового сопротивления при использовании для управления плоских сетчатых экранов.

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования характеристик течения за сетчатыми плоскими экранами перпендикулярными сверхзвуковому потоку воздуха при числе Маха потока $M_\infty = 4,85$ и единичном числе Рейнольдса $Re_{1\infty} = 2,7 \cdot 10^6$ 1/м. В экспериментах использованы сетки с различной геометрией ячеек и толщиной проволок плетения. Исследовано влияние геометрии и газопроницаемости устройств, поддерживающих сетчатые экраны перед телом. В экспериментах на сверхзвуковой аэродинамической трубе Т-327Б ИТПМ СО РАН использован метод теневой визуализации потока, измерения статического давления и динамического напора пневмозондами, весовые измерения сил сопротивления, PIV-метод измерения поля скоростей. Предложена модель формирования течения за сетчатым экраном, приводящего к снижению волнового сопротивления в системе сетчатый экран-тупое тело.

1. В. М. Фомин, С.Г. Миронов, К.М. Сердюк, Снижение волнового сопротивления тел в сверхзвуковом потоке пористыми материалами, Письма в ЖТФ, Т35, Вып.3, 39 (2009).

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

РАСЧЕТ ГОМОГЕННОЙ И ГЕТЕРОГЕННОЙ ДЕТОНАЦИИ В ПРИСУТСТВИИ ИНЕРТНОЙ КОМПОНЕНТЫ

Д. А. Тропин

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

Новосибирский государственный университет

Физико-математическое моделирование процесса ослабления детонации является актуальным с точки зрения обеспечения взрыво- и пожаробезопасности промышленных производств. Для описания данного процесса в стехиометрической водород-кислородной смеси (в том числе и разбавленной аргоном) были предложены две модели неравновесной газовой динамики, основанные на детальной и приведенной кинетике; разработана математическая технология определения равновесных параметров смеси в плоскости Чепмена-Жуге. Сопоставление зависимостей скорости детонации от содержания аргона, полученных по обоим моделям, показало совпадение результатов в области $\xi_{Ar} \in [0, 0.9]$ и небольшое расхождение при содержании аргона более 90%.

Для описания структуры детонационной волны в рамках модели приведенной кинетики были проанализированы многочисленные аппроксимационные формулы, встречающиеся в литературе, для описания экспериментальных зависимостей времени задержки воспламенения от параметров смеси. Эти зависимости учитывают влияние, как правило, двух таких параметров – температуру и начальную концентрацию компонент, и описывают конкретные экспериментальные данные соответствующего автора. Из их анализа была получена обобщенная зависимость времени задержки воспламенения от температуры, давления и начальных концентраций компонент, описывающая широкий ряд экспериментальных данных. Используя данное представление, удалось построить теорию структуры детонационной волны в рамках модели с приведенной кинетикой для широкой области параметров смеси водород-кислород. Проведено сопоставление данных расчетов по обоим подходам.

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

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КАПЛИ ПРИ МАЛЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА

А. С. Усанина

НИИ прикладной математики и механики
Томского государственного университета

При движении капли в потоке действующие на нее инерционные и аэродинамические силы могут превышать силы поверхностного натяжения, в результате чего капля теряет устойчивость, деформируется и разрушается с образованием более мелких вторичных капель. Данный процесс играет важную роль в газовой динамике двухфазных потоков, при оценке экологических последствий, вызванных выбросом токсичных компонентов жидких ракетных топлив при авариях ракет-носителей, и в ряде других технологических задач.

Выбор области малых чисел Рейнольдса $Re \sim 1$ обусловлен тем, что в работах, посвященных обтеканию сфероидов, данное течение изучено в меньшей степени.

В работе [1] представлены результаты экспериментального исследования деформации одиночной первоначально сферической капли ртути при малых числах Рейнольдса. Модификация устройства [1] не позволяет исследовать капли в области критического значения числа Бонда, поскольку исходную сферическую каплю необходимо получить диаметром 15 мм. Однако такую крупную каплю невозможно получить в обычных условиях. В данной работе описана методика эксперимента для исследования устойчивости капли в поле центробежных сил. Для этого требуются капли меньших размеров, которые можно получить с помощью обычных устройств

1. В.А. Архипов, И.М. Васенин, В.Ф. Трофимов, У.М. Шереметьева. Режимы деформации и дробления жидкокапельных аэрозолей // Оптика атмосферы и океана, т.19, № 6, 2006, С. 526-529.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. А. Архипов

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ВОЗБУЖДЕНИЯ НА СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУИ

М. Ю. Хребтов

Новосибирский государственный университет

На базе моделирования течения методом крупных вихрей [1] исследована структура поля старших моментов пульсаций для свободной турбулентной струи ($Re=25000$) при различных частотах внешнего возбуждения. В качестве подсеточной модели использовалась модель Смагоринского, влияние которой могло оказаться существенным при расчете старших моментов производной скорости. Для минимизации этого влияния расчет проводился на наборе сгущающихся сеток, наименьший размер ячейки достигал десяти колмогоровских масштабов. Во входном сечении струи задавались гармонические возмущения небольшой амплитуды, с частотами, близкими к собственной частоте сопла ($Sh=0.25\div 1$).

В отсутствие возбуждения в картине третьего момента наблюдались области с положительным значением третьего момента производной, что свидетельствует о преобладании в этих областях процессов объединения вихрей над процессами распада [2]. Эти области были локализованы на первых пяти калибрах от входного сечения, ниже по потоку третий момент производной принимает строго отрицательные значения, что соответствует доминированию прямого каскада переноса энергии. Исследование спектров энергии турбулентных пульсаций в таких «аномальных» областях показало наличие в них протяженных интервалов с наклоном $\sim k^{-3}$. Такой вид спектра является характерным для течений с двумерной турбулентностью. Добавление внешних возмущений даже незначительной амплитуды приводит к существенному изменению форм и размеров таких областей, что говорит о сильном влиянии на их образование когерентных структур, образующихся в процессе развития неустойчивости на начальном участке слоя смешения. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 06-01-00724-а).

-
1. Б. Б. Илюшин, Д. В. Красинский, Моделирование динамики турбулентной круглой струи методом крупных вихрей // Теплофизика и аэромеханика - 2006, т.13, № 1, с.49-61.
 2. А. С. Монин, А. М. Яглом, Статистическая гидромеханика. М. Наука, 1967 г.

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

Стекающие пленки жидкости характеризуются высокой интенсивностью теплообмена, в связи с чем, широко применяются в современной технике.

Развитие кризисных явлений в существенной мере зависит от ряда факторов. Время ожидания вскипания ограничивает область однофазного теплообмена в пленке во времени и в значительной степени определяет сценарий развития процесса теплообмена перед кризисом.

Из сопоставления полученных опытных данных и результатов численного моделирования, представленных в работе [1], 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 конвективную составляющую теплообмена. В работе [1] учет конвективной составляющей теплообмена производился путем использования экспериментально полученных данных по теплоотдаче с нагревательной поверхности.

Целью данной работы является построение математической модели, позволяющей производить расчет профиля волновой поверхности, полей скорости, температуры, и исследовать их эволюцию во времени с учетом действия термокапиллярных сил для недогретых пленок. Это даст возможность определять времена ожидания вскипания без привлечения экспериментальных данных по теплообмену.

Работа выполнена при частичной поддержке интеграционного проекта СО РАН и УрО РАН (проект №2.5) и Российского фонда поддержки научных исследований «Научный потенциал» (по физике).

1. Pavlenko A., Surtaev A., Chernyavski A., Volodin O. Development of heat transfer and crisis phenomena in falling wavy liquid films at nonstationary heat release // Proc. Of 5th Int. Conf. on Transport Phenomena in Multiphase Systems "Heat 2008". Bialystok, Poland. 2008. – V. 2. – P. 131-138.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН,
А.Н. Павленко

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕРМОКАПИЛЛЯРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В НАГРЕВАЕМОЙ ПЛЕНКЕ ЖИДКОСТИ

Е. Н. Шатский

Новосибирский государственный университет
Институт теплофизики СО РАН

Неустойчивость изотермической стекающей пленки жидкости к трехмерным возмущениям рассмотрена в [1]. Показано, что длина волны неустойчивости уменьшается с увеличением числа Рейнольдса пленки. В Институте теплофизики обнаружено два механизма формирования струй в неизотермической стекающей пленке жидкости в режимах А и Б [2]. Предполагалось, что в режиме Б деформации на поверхности пленки появлялись в результате развития гидродинамической неустойчивости при $Re > 5$ в области распада двумерных и формирования трехмерных волн. В работе [3] установлено, что при малых числах Рейнольдса расстояние между подковообразными волнами в изотермической пленке жидкости может существенно отличаться от расстояния между струями в режиме Б при высоких тепловых потоках, достаточных для формирования струй. Показано, что возмущения гидродинамической природы, хотя и являются источником начальной деформации пленки, которая в дальнейшем развивается под действием термокапиллярных сил, не оказывают принципиального влияния на конечное расстояние между струями. Целью данной работы является измерение расстояния между трехмерными волнами переходящими в струи при увеличении плотности тепловых потоков.

Установлено, что с увеличением плотности теплового потока расстояние между гребнями трехмерных волн и струями уменьшается. С увеличением числа Рейнольдса разница между длиной волны гидродинамической неустойчивости к трехмерным возмущениям в изотермической пленке жидкости и длиной волны термокапиллярно-волновой неустойчивости (режим Б) сокращается.

1. Park C. D. and Nosoko T. Three-Dimensional Wave Dynamics on a Falling Film and Associated Mass Transfer // *AIChE Journal*. Vol. 49, No. 11.

2. Чиннов Е.А., Кабов О.А. Формирование струйных течений при гравитационном стекании волновой нагреваемой пленки жидкости // *ПМТФ*. 2003. Т. 44. N 5.

3. Чиннов Е.А. Деформация подковообразных волн при нагреве пленки жидкости // *Письма ЖТФ*. 2008. Т.34. Вып. 14.

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

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА И ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК В СХЕМЕ ЛАЗЕРНОГО НАПЫЛЕНИЯ «FORWARD TRANSFER»

М. В. Шугаев

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

Лазерно-индуцированный перенос материала от мишени к подложке по ходу лазерного луча (схема «laser-induced forward transfer» (LIFT)) привлекает к себе внимание как альтернатива дорогостоящим методам литографии [1,2]. Кроме того, техника LIFT при соответствующем подборе параметров облучения позволяет перенос любого материала (металлов, диэлектриков, полупроводников, полимеров, биологических тканей) [2]. Важной технологической задачей является подбор режимов LIFT для конкретного вещества, что требует глубокого понимания взаимосвязи процессов, происходящих в материале при его облучении и на стадии его переноса к подложке [1,2].

В работе [2] показано, что даже среди одного семейства материалов при аналогичных условиях облучения перенос вещества на подложку происходит существенно различным образом (золото в виде микро- и нанокристаллитов, цинк в виде нанодисперсных капель, хром в виде большой жидкой капли).

В данной работе представлены результаты численного моделирования нагрева и плавления металлических пленок (Au, Zn, Cr) фемтосекундными импульсами лазерного излучения для условий работы [2]. Моделирование выполнено на основе двухтемпературной модели [3,4]. Анализируется различие в процессе нагрева и плавления исследуемых материалов.

1. A. Piqué, H. Kim, C. B. Arnold, Laser forward transfer of electronic and power generating materials, in: Laser Ablation and its Application, C. Phipps, ed. – Springer, 2007. – P. 339-373.

2. A. Klini, P. A. Loukakos, D. Gray, A. Manousaki, C. Fotakis, Laser induced forward transfer of metals by temporally shaped femtosecond laser pulses, Optics Express 16, 11300 (2008).

3. S.-S. Wellershoff, J. Hohlfeld, J. Güdde, E. Matthias, The role of electron-phonon coupling in femtosecond laser damage of metals, Appl. Phys. A 69, S99 (1999).

4. N. M. Bulgakova, I. M. Bourakov, Phase explosion under ultrashort laser ablation: modeling with analysis of metastable state of melt, Appl. Surf. Sci. 197-198C, 44 (2002).

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

БИОЛОГИЧЕСКАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ В ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ЛИМФОЦИТОВ И МОНОЦИТОВ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПО СВЕТОРАССЕЯНИЮ

Д. И. Строкотов

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Растущая распространенность иммунодефицитных состояний определяет новый круг задач диагностики, напрямую связанных с иммунокомпетентными клетками крови, в особенности лимфоцитами и моноцитами крови человека. Современные методики фенотипирования этих клеток требуют дорогостоящих моноклональных антител и значительного времени для проведения анализа. Поэтому актуальна задача развития быстрых и точных методов определения истинных параметров лимфоцитов и моноцитов, не искаженных в процессе подготовки проб.

Классическим методом изучения морфологии клеток является микроскоп, но он обладает низким быстродействием и точностью определения параметров. Сканирующий проточный цитометр (СПЦ) позволяет измерять индикатрису светорассеяния одиночных частиц, которая содержит информацию, потенциально достаточную для характеристики их морфологии. Одним из преимуществ СПЦ по сравнению с микроскопом является высокая скорость анализа частиц, что обеспечивает высокую статистическую точность. Однако такая характеристика требует решения обратной задачи светорассеяния, что не тривиально даже для простейших форм частицы.

В данной работе предложен метод решения обратной задачи светорассеяния для одиночных частиц, морфология которых описывается моделью двухслойного шара. Работоспособность метода продемонстрирована при определении параметров лимфоцитов и моноцитов по индикатрисам светорассеяния, измеренным на сканирующем проточном цитометре. Метод использовался для определения диаметров и показателей преломления ядра и цитоплазмы лимфоцитов и моноцитов человека. Измеренные таким образом параметры клеток в целом согласуются с литературными данными. Определение этих параметров актуально для диагностики патологических состояний иммунной системы человека. Методика, описанная в данной работе, применима для всех мононуклеарных клеток.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОРАССЕИВАЮЩИХ СВОЙСТВ РЕТИКУЛОЦИТОВ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕЙ ПРОТОЧНОЙ ЦИТОМЕТРИИ

А. А. Гелаш

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Ретикулоциты крови человека являются незрелой формой эритроцитов. Попадая в кровоток, они в течение нескольких дней, трансформируются в эритроциты. Ретикулоциты содержат остатки РНК, которая удаляется в процессе созревания, гранулы, и не содержат ядра. Средние объем и площадь поверхности ретикулоцита на несколько десятков процентов превосходят данные значения для эритроцитов. Концентрация ретикулоцитов в крови отражает регенеративные свойства костного мозга. Их подсчет имеет значение для диагностики таких заболеваний как различные виды анемий, рак костного мозга, малярия, заболевания почек и др.

Светорассеяние ретикулоцитов определяется их формой. Известно, что на ранних стадиях созревания (в костном мозге) ретикулоциты имеют нерегулярную форму. В ряде работ утверждается, что на поздних стадиях созревания (в кровотоке) большинство ретикулоцитов крови имеет чашевидную форму [1]. Для того чтобы построить модель чашевидной формы ретикулоцита, необходимо получить эти формы в качестве локального (или глобального) минимума потенциальной энергии изгиба поверхности ретикулоцита. Для построения оптической модели ретикулоцита дополнительно к форме необходимо также определиться с его показателем преломления.

В данной работе предлагается оптическая модель ретикулоцита. Оптическая модель используется для вычисления теоретических индикатрис светорассеяния, используя метод дискретных диполей [ii]. Для получения экспериментальных индикатрис используется сканирующий проточный цитометр. При этом идентификация ретикулоцитов в смеси с эритроцитами проходит с помощью окрашивания РНК ретикулоцитов специальным красителем (акридиновый оранжевый).

¹ Mel HC, Prenant M, Mohandas M Reticulocyte motility and form: studies on maturation and classification, Blood. 46(6):1001-9 (1977).

¹ M.A. Yurkin Discrete dipole simulations of light scattering by blood cells, Amsterdam, 2007.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ЛИГАНД - РЕЦЕПТОРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОНОКЛОНАЛЬНЫХ АНТИТЕЛ CD16b С НЕЙТРОФИЛАМИ ЧЕЛОВЕКА

Д. Ю. Орлова

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Взаимодействие антиген-антитело является элементарным актом иммунных процессов. Исследование реакции образования комплекса антиген-антитело необходимо для понимания молекулярной основы иммунитета. В последние годы с разработкой новых методов исследования появляется все больше экспериментальных работ, посвященных кинетике образования комплексов антиген-антитело. При этом наиболее распространенными экспериментальными методиками традиционно являются радиоиммуноанализ, иммуноферментный анализ, иммунофлуоресцентный анализ, иммуноагглютинация, поверхностный плазмонный резонанс, техника полного внутреннего отражения, проточная цитометрия. Проточная цитометрия выгодно отличается от других методов, так как позволяет исследовать кинетику связывания антигена с антителом на поверхности одиночных клеток.

В реализации иммунных реакций важная роль принадлежит нейтрофилам. Гетерогенность функциональных возможностей нейтрофилов, степень их зрелости определяются состоянием рецепторного аппарата. Специфическая мембранная рецепция отражает адгезивные, поглотительные, цитолитические, апоптические способности нейтрофилов. Фагоцитарная и микробицидная активность нейтрофильных гранулоцитов находится в непосредственной зависимости от количества и плотности таких поверхностных рецепторов, как CD11b/CD18, CD64, CD16, CD32, CD95.

Данная работа посвящена исследованию кинетики образования комплексов антиген-антитело (моноклональные антитела CD16b – поверхностные рецепторы F_{cy}RIIIb нейтрофилов человека) с использованием проточного цитометра FACSCalibur, Becton Dickinson, USA. Исследования кинетики проводились по данным флуоресценции от одиночных клеток. В результате измерена динамика функции распределения нейтрофилов по флуоресценции, получено среднее число рецепторов на клетку для четырёх пациентов, а также константы скорости прямой и обратной реакции на один рецептор.

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

ИЗУЧЕНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ РЕАКЦИЙ АНТИГЕН-АНТИТЕЛО НА ПОВЕРХНОСТИ МИКРОЧАСТИЦ

А. С. Бакланов

Новосибирский государственный университет
«Вектор-Бест»

Различные иммунохимические методы анализа используются для контроля качества медицинских препаратов и донорской крови, при выявлении инфекционных заболеваний, отравлений, наличия наркотиков в крови. Иммунохимические варианты анализа с использованием микродисперсных иммуносорбентов имеют ряд преимуществ, по сравнению с иммуноанализом на поверхности 96-ти луночных планшетов: равномерное распределение по объёму, более плотная посадка антител на поверхности, что может позволить уменьшить время анализа.

Целью данной работы является изучение кинетических характеристик гетерогенных реакций антиген-антитело на поверхности латексных микрочастиц с целью определения временных и концентрационных факторов протекания реакции антиген-антитело для выбранных нами условий и схемы построения иммуноанализа.

В работе используются латексные микрочастицы диаметром 5 мкм, на поверхности которых иммобилизованы кроличьи антитела против иммуноглобулинов мыши. Антигеном являются мышинные иммуноглобулины класса G. Для изучения кинетики реакции антигена с сенсibilизированными микрочастицами применен метод быстрого удаления от несвязавшихся реагентов фильтрацией на планшетах с мембраной Glassfiber 1.2 мкм.

В экспериментах показано, что характерное время связывания антигена из раствора составляет не более 10 минут, при концентрации микрочастиц 10^6 штук/мл, концентрации антигена 10 мкг/мл.

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

ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИРИОНА ОСПОВАКЦИНЫ С КЛЕТОЧНОЙ МЕМБРАНОЙ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Д. В. Корнеев

Новосибирский государственный университет

Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»

Вирусную природу имеют многие инфекционные заболевания человека, включая СПИД, гепатиты, грипп и клещевой энцефалит.

Важным шагом на пути к созданию противовирусных препаратов является прямое изучение механизмов взаимодействия вируса с клеткой, в частности, связывания вириона с соответствующим рецептором. Малые размеры вирионов значительно осложняют исследования данного процесса. С появлением коммерчески доступного оборудования для манипуляций с нано-объектами и силовой спектроскопии высокого разрешения (атомно-силовой микроскоп) стало технически осуществимым прямое измерение силы взаимодействия одиночного вириона с рецепторами, расположенными на поверхности клетки.

Изучение взаимодействия вириона с клеточной поверхностью сопряжено со значительными техническими трудностями. В частности, необходима разработка надежных методов получения заданного количества вирионов в зоне взаимодействия вируса с клеточной поверхностью (на острие зонда атомно-силового микроскопа).

В данной работе использован вирус осповакцины, принадлежащий к семейству *Poxviridae*, имеющий крупные (до 400 нм) жесткие вирионы, форма которых близка к прямоугольному параллелепипеду. Изучена возможность применения метода диэлектрофореза (движение диэлектрических частиц в переменном неоднородном электрическом поле) для фиксации одиночного вириона на зонде атомно-силового микроскопа. Для проверки фиксации вирионов зонды с присоединенными вирионами изучали методом сканирующей электронной микроскопии.

Измерены силы взаимодействия вириона осповакцины с различными субстратами в широком диапазоне параметров среды.

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

ИЗУЧЕНИЕ ИММУНОРЕАКТИВНОСТИ АНТИТЕЛ, ИММОБИЛИЗОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНОК ПОЛИСТИРОЛОВЫХ ПЛАНШЕТ

А. В. Мордвинцева
Новосибирский государственный университет
«Вектор-Бест»

Сложность задач по созданию универсальных средств специфической индикации (СИ) определяется необходимостью учета ряда факторов: низкая концентрация специфических биомаркеров в пробах; необходимость проведения экспресс - анализов в сжатые сроки. В связи с этим, к разрабатываемым средствам СИ предъявляются жесткие требования по чувствительности, специфичности, быстродействию, производительности, экономичности.

Наиболее перспективным методом для решения задач СИ является иммунный анализ (ИА), основанный на высокой избирательности и специфичности иммунохимического взаимодействия антиген-антитело. Целью данной работы является исследование особенностей функциональной активности (иммунореактивности) антител, иммобилизованных на поверхность лунки полистиролового планшета. С целью прямого определения минимальных количеств образовавшихся иммунных комплексов выбран и отработан метод модификации анализируемого антигена легко регистрируемым палладий - порфириновым флуорофором.

Показано, что иммунореактивность лунок сенсibilизированного антителами планшета зависит от концентрации антител и условий иммобилизации. При превышении количества связанных антител «уровня монослоя» возрастание иммунореактивности имеет «пороговый» характер. При дальнейшем увеличении количества антител достигается «уровень плато», выше которого иммунореактивность планшет не возрастает.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ФЛЮОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА КИНЕТИКИ СЛИЯНИЯ МЕМБРАН ПРИ ПРОНИКНОВЕНИИ ВИРУСОПОДОБНЫХ ЧАСТИЦ В КЛЕТКИ МЛЕКОПИТАЮЩИХ.

С. В. Мальцев

Новосибирский государственный университет

Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»

Механизм инфицирования клетки вирусом всегда включает стадию доставки генетического материала внутрь клетки. Одним из необходимых этапов доставки генома для большинства вирусов, имеющих бислойную липидную оболочку, является слияние оболочки вирусной и клеточной мембраны. Слияния мембран разных штаммов вирусов с мембранами клеток имеют ряд общих свойств и протекают по общему механизму. Слияние происходит таким образом, что после образования общей липидной мембраны в месте слияния образуется пора, через которую в клетку поступает генетический материал вируса для дальнейшего заражения.

Слияние мембран, являющееся критическим этапом для всего процесса инфицирования вирусом клетки, было выбрано в качестве объекта исследования.

Задачами исследования являются построение и применение кинетической модели слияния оболочки вируса и клетки, а также разработка экспериментального метода измерения параметров этой модели.

В качестве модели вирусной частицы для проведения экспериментального изучения процесса слияния мембран были выбраны катионные липосомы, внутри которых заключены молекулы РНК. Измерение константы скорости описываемой реакции основано на анализе изменения спектра флюоресценции пробы с клетками, к которым добавляются вирусоподобные частицы, маркированные флюоресцентным красителем. Для окрашивания используется липотропный гидрофобный флюорофор, спектр флюоресценции которого зависит от его концентрации. Слияние маркированных липосом с мембраной клетки влечёт изменение спектра флюоресценции. Наблюдение за изменением спектра флюоресценции позволяет экспериментально измерять кинетику реакции слияния мембран.

Разработанные в данной работе модель и экспериментальный метод позволят измерять кинетику реакции слияния мембран клеток с реальными вирусами.

Научные руководители – С. О. Шепеленко, канд. биол. наук
А. Б. Рыжиков

ИЗОБРАЖАЮЩАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НАРУШЕННОГО ПОЛНОГО ВНУТРЕННЕГО ОТРАЖЕНИЯ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ

В. В. Герасимов

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

Терагерцовая спектроскопия представляет особый интерес для биологии и медицинской диагностики, т.к. в данном диапазоне лежат частоты колебаний многих биологических молекул. При работе с биологическими образцами использование обычного абсорбционного метода для измерения спектров сильно затруднено из-за сильного поглощения и рассеяния многих биологических субстанций. Применение метода нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) позволяет решить данную проблему. Для медицинской диагностики большое значение имеет получение изображений. Существует мало работ, посвященных спектроскопии-НПВО в терагерцовом диапазоне, а сведения по изображающей терагерцовой НПВО-спектроскопии в литературе отсутствуют. Большая часть ранее выполненных экспериментов проводилась с использованием широкополосных маломощных источников излучения. Появление мощных перестраиваемых источников терагерцового излучения, таких как лазер на свободных электронах (ЛСЭ), открыло новые возможности для терагерцовой спектроскопии. Малая расходимость пучка и монохроматичность излучения ЛСЭ позволяют реализовать изображающий спектрометр НПВО.

Недавно нами был спроектирован и изготовлен первый изображающий НПВО-спектрометр терагерцового диапазона для работы с излучением Новосибирского ЛСЭ. Используемый в качестве детектора уникальный неохлаждаемый матричный микроболометрический приемник позволяет выполнять динамические измерения с частотой до 90 кадров в секунду [1]. Продемонстрировано, что значения комплексного показателя преломления жидкостей, для которых существуют литературные данные, хорошо совпадают с «табличными» величинами. При нескольких длинах волн сняты «видеофильмы» в терагерцовом и видимом диапазонах, демонстрирующие возможность регистрации изображающим НПВО-спектрометром динамических процессов в средах, содержащих компоненты с различными спектральными характеристиками.

1. M. A. Dem'yanenko, D. G. Esaev, B. A. Knyazev et al., Terahertz Imaging with a 90 frames/s microbolometer focal plane array and high-power terahertz free electron laser // Appl. Phys.Lett. 2008. V. 92. 131116.

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

КИНЕТИКА УКЛАДКИ SH3 ДОМЕНА

И. В. Калгин

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

Традиционно, для интерпретации результатов моделирования по кинетике укладки белков используются поверхности свободной энергии (ПСЭ), зависящие от коллективных переменных (параметров порядка), характеризующих конформационное пространство системы [1]. Одним из существенных недостатков ПСЭ является то, что они определяют только вероятность пребывания системы в разных состояниях, но не указывают направление движения системы. Поэтому в последние годы стали активно развиваться подходы, основанные на подсчете переходов между состояниями системы [2]. Одним из таких подходов является «гидродинамический» подход [3], в котором по аналогии с гидродинамикой вычисляются распределения потоков и «линий тока» укладки. Существенно, что он позволяет выбрать в качестве переменных интересующие параметры порядка и построить 2D и 3D поля потоков, что предоставляет широкие возможности для исследования кинетики.

В данной работе «гидродинамический» подход использован для исследования кинетики укладки fun SH3 , представляющего широкое семейство SH3 доменов. Использовалась C-альфа модель белка, моделирование проводилось методом дискретной молекулярной динамики. Конкретно, внимание было направлено на вопрос, вызывающий активную дискуссию – является ли кинетика укладки одностадийной или нет, и если нет, то с чем это связано. Расчеты показали, что SH3 домен имеет двухстадийную кинетику укладки. Путем построения 2D и 3D полей потоков укладки выяснены основные сценарии укладки и вычислена вероятность их реализации. Сравнение результатов моделирования с имеющимися экспериментами показало, что быстрая мода укладки лежит за пределами временного разрешения использованных экспериментальных методик, поэтому одностадийный характер укладки, наблюдаемый в экспериментах, обусловлен, вероятно, недостаточно высоким уровнем разрешения в экспериментах.

Работа поддержана CRDF-РФФИ грантом совместных исследований (RUB2-2913-NO-07/08-04-91104).

-
1. D. J. Wales. Energy Landscapes (Cambridge University Press) 2003.
 2. S. V. Krivov and M. Karplus, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 105 (2008) 13841.
 3. S. F. Chekmarev et al., Phys. Rev. Lett. 100 (2008) 018107.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. Ф. Чекмарёв

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРНОГО МЕТОДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ МАЛЫХ ОБЪЕМОВ

А. В. Клемина

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Используемые в настоящее время методы и аппаратура для определения состава сложных биологических жидкостей, таких как сыворотка крови и цельная кровь человека, имеют целый ряд существенных недостатков. Общие из них - недостаточная точность и длительное время проведения анализа, зависимость результатов от качества используемых реактивов.

Акустический метод в медицине используется только в системах визуализации внутренних органов. Для того чтобы применить ультразвуковые волны для анализа состава биологических жидкостей, необходима разработка и исследование метода высокоточного определения относительной скорости (10^{-5}) и поглощения (10^{-2}) ультразвука в очень малом объеме порядка 80–100 мкл жидкости.

Акустические характеристики цельной крови и ее основных компонентов: сыворотки крови и эритроцитов, исследовались еще в прошлом веке. Однако сравнительно большие объемы (более 1 мл) акустических ячеек не позволили проводить систематические исследования сыворотки крови с целью анализа состава сыворотки крови при различных патологических состояниях.

В настоящей работе представлены результаты систематических исследований акустических характеристик сыворотки крови человека (в норме и при различных заболеваниях), на основе которых разработан новый акустический метод определения состава сыворотки крови. Причем, в отличие от биохимических методов, акустические исследования позволяют определять состав сыворотки крови без применения дорогостоящих реактивов, которые к тому же часто вредны для здоровья врача-лаборанта.

Представлены результаты сопоставительных испытаний традиционных и акустических методов в ведущих медицинских центрах России. На основе этих испытаний акустические методы рекомендованы к применению в клинико-диагностических лабораториях лечебно-профилактических учреждений.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ – 08-02-00631 и ведущей научной школы НШ – 1055.2008.2.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. Н. Гурбатов

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ МИКРО-СВАРКИ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ ОБЛОМКОВ ЭНДОДОНТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ КОРНЕВОГО КАНАЛА ЗУБА

М. А. Черкасова, А. Б. Цыганов

Санкт-Петербургский государственный горный институт
им. Г. В. Плеханова

Исследованы процессы контактной микро-сварки в микропроцессорном экстракторе для извлечения обломка эндодонтического инструмента из корневого канала зуба. Лечение корневых каналов зуба осуществляется с помощью эндодонтических файлов – конических микронапильников, которыми стоматолог «растачивает» корневой канал зуба по всей длине, удаляя инфицированный дентин. Длина файлов порядка 25 мм, а диаметр изменяется по длине в пределах 0,2-1 мм. Материал – сталь или Ni-Ti сплав. Иногда при работе файлами (до 3% случаев) происходит их «зжатие» и обламывание в корневом канале. В этом случае удаление инфекции невозможно должным образом закончить, а прогноз для зуба с обломком - удаление.

Нами были разработаны опытный образец портативного экстрактора с батарейным питанием и опытные образцы (сталь и Ni-Ti сплав) конических экстрагирующих электродов для извлечения обломков эндодонтических инструментов из канала зуба. Микропроцессорный блок экстрактора с помощью накопительного конденсатора (емкость до 0,1 Ф, напряжения заряда 8-16 В) и сильноточного (до 200 А) транзисторного коммутатора, управляемого ЦАП, обеспечивал импульсную (длительность - несколько мсек) контактную микро-сварку модельных обломков и экстрагирующих электродов. Процесс сварки контролируется с помощью АЦП блока. Были проведены экспериментальные исследования различных вариантов контактной микросварки: одно- и много-импульсные последовательности, а также зависимости от длительности импульсов, силы тока, автоматической стабилизации тока и напряжения. Режимы программировались на языке Ассемблер для микроконтроллера ADuC841.

В результате были найдены режимы работы экстрактора, которые обеспечивали надежное приваривание электродов к обломкам различной формы и размеров, при этом прочность на разрыв составляла 15-50 Н, что достаточно для извлечения в большинстве клинических случаев.

Разработанное устройство является достаточно эффективным для извлечения обломков из корневого канала зуба, что позволяет улучшить прогноз лечения и избежать удаления зуба.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Мустафаев

КВАНТОВАЯ ОПТИКА

СПЕКТР ПРОПУСКАНИЯ ОДНОМЕРНОГО РФК

А. Ю. Авдеева, И. В. Тимофеев
Сибирский федеральный университет
Институт физики им. Киренского СО РАН

Фотонные кристаллы, диэлектрические свойства которых меняются периодически, допуская брэгговскую дифракцию света, вызывают интерес как новые оптические материалы, обладающие уникальными свойствами [1-2].

В данной работе рассмотрена простейшая реализация резонансного фотонного кристалла (РФК), которой является слоистая структура, состоящая из чередующихся слоев двух материалов, в качестве одного из которых рассматривается резонансно поглощающий газ. В отличие от [3-4], нами изучена с помощью метода трансфер-матрицы структура спектров дополнительного пропускания в запрещенной зоне одномерного РФК при вариации угла падения, плотности резонансного газа, и резонансной частоты газа.

Показано, что комбинация дисперсии ФК-структуры с дисперсией резонансного газа приводит к качественному изменению спектральных свойств резонансного фотонного кристалла. Установлено, что имеются реальные возможности изменения кривых дополнительного пропускания в запрещенной зоне РФК за счет изменения угла падения лазерного излучения, плотности резонансного газа, положения резонансной частоты относительно края запрещенной зоны.

В практических приложениях такие РФК могут быть перспективны при создании узкополосных фильтров с перестраиваемыми характеристиками, при построении новых типов оптических устройств.

-
1. K. Busch, S. Lölkes, R. B. Wehrspohn, and H. Föll. Photonic Crystals: Advances in Design, Fabrication and Characterization. Weinheim: Wiley-VCH, 2004. 354 p.
 2. Шабанов В.Ф., Ветров С.Я., Шабанов А.В. Оптика реальных фотонных кристаллов: жидкокристаллические дефекты, неоднородности. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 240 с.
 3. Желтиков А.М., Наумов А.Н., Баркер П., Майлс Р.Б. // Оптика и спектр. 2000. Т. 89, № 2. С. 309–313.
 4. Artoni M. Rossa G. La, Bassani F. // Phys. Rev. E. 2005. V. 72. P. 046604.

Научный руководитель - д-р. физ.-мат. наук, проф. С. Я. Ветров

ВОЛОКОННЫЙ ИТТЕРБИЕВЫЙ ЛАЗЕР С УДВОЕНИЕМ ЧАСТОТЫ, ГЕНЕРИРУЮЩИЙ В ОБЛАСТИ 515 НМ

Е. И. Донцова

Институт автоматизации и электротехники СО РАН
Новосибирский государственный технический университет

В настоящее время широко применяются волоконные лазеры с излучением в ИК области спектра, к примеру, в сфере телекоммуникаций. Поскольку лазеры на основе оптических волокон являются эффективными, актуален вопрос об их работе в видимом диапазоне длин волн, например, для использования в биомедицине.

Удвоение частоты широко известно на длине волны 1064 и 1030 нм для твердотельных лазеров с диодной накачкой неодимовых и иттербиевых соответственно. Но существующие лазеры не имеют возможности перестройки длины волны излучения в широком диапазоне. Волоконный иттербиевый лазер даёт возможность удвоения в широком диапазоне длин волн 1030-1120 нм, т.е. длины волн второй гармоники 515-560 нм. В коротковолновой области оно ограничивается значительным поглощением, а в длинноволновой - уменьшением коэффициента усиления. Для генерации второй гармоники в волоконном лазере обычно используют однопроходные схемы с дорогими периодически ориентированными кристаллами, но удвоение возможно и во внутриволноводной схеме с обычным кристаллом (КТР) [1]. Аналогичные работы уже были проведены на длинах волн 540-560 нм [1]. Целью данной работы была демонстрация возможности получения второй гармоники волоконного лазера в более коротковолновой области - 515 нм, которая ранее не исследовалась. Была проведена оптимизация параметров лазера.

Для накачки воспользовались диодом мощностью до 10 Вт, в результате получено 15 мВт мощности на длине волны 515 нм при однопроходной схеме удвоения и 115 мВт при внутриволноводной схеме удвоения. Таким образом, была увеличена мощность излучения второй гармоники в 2 раза за счёт применения двухпроходной схемы и в $(1,9)^2$ раз за счёт увеличения мощности в 1,9 раз на основной частоте.

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

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

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА, В ТОМ ЧИСЛЕ В РЕЖИМЕ ПРОПУСКАНИЯ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ПОТОКОВ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

П. М. Дутов

Новосибирский государственный университет

Разработана технология штамповки селективных дифракционных линз для субмиллиметрового диапазона длин волн, позволяющая радикально снизить затраты на их производство. Использование для штампа биметаллической никелево-стальной пластины позволило методом алмазного точения сформировать в ней рельеф дифракционной линзы с расчетными значениями параметров зон и требуемой степенью шероховатости. Линзы предназначены для применения на Лазере на свободных электронах Сибирского центра фотохимических исследований СО РАН в режиме пропускания высокоинтенсивных потоков терагерцового излучения и изготавливаются из листового полипропилена ГОСТ 21996-86 методом горячего вакуумного прессования.

Модельный ряд киноформных линз состоит из четырёх образцов, диаметром 80 мм, обладающих фокусным расстоянием $F = 200$ мм. Параметры фазового рельефа линз рассчитаны для основных длин волн излучения λ : 130 мкм, 145 мкм, 180 мкм и 220 мкм. Пятый образец представляет собой линзу с предельными характеристиками для длины волны $\lambda = 130$ мкм (диаметр - 80 мм, фокусное расстояние $F = 80$ мм). В качестве монотонного фазового профиля оптического элемента выбрана фазовая функция сферической линзы в приближении Френеля.

Показано, что стабилизирующие и просветляющие добавки в исходный материал линз – полипропилен – не вносят значимых изменений в коэффициент поглощения терагерцового излучения, составляющий 5 ± 2 %/мм. Данные значения коэффициента поглощения позволяют избежать термического повреждения линз при прохождении высокоинтенсивного пучка терагерцового излучения мощностью до 100 ватт.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, М. Ф. Ступак

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ИНДУКЦИОННОГО РАЗРЯДА В ВОДОРОДЕ И СОЗДАНИЕ H_2 -ЛАЗЕРА

А. С. Завьялов, Д. С. Чуркин
Институт лазерной физики СО РАН
Новосибирский государственный университет

Сообщается о получении генерации с $\lambda=0,89$ мкм и $\lambda=1,12$ мкм в импульсном индукционном разряде тороидальной формы на электронных переходах молекулярного водорода.

Разработана и экспериментально реализована система возбуждения молекулярного водорода импульсным индукционным разрядом. В экспериментах была использована керамическая разрядная трубка, с внутренним диаметром 34 мм и длиной 800 мм. На ней располагался индуктор, состоящий из 20 параллельно включенных катушек, по 6 витков каждая. Трубка заполнялась водородом и его смесями с другими газами при различных давлениях и по торцам герметизировалась плоскопараллельными пластинами из MgF_2 . Лазерный резонатор был образован внешними диэлектрическими зеркалами.

В докладе представлены результаты экспериментальных исследований временных и спектральных характеристик излучения молекулярного водорода в индукционном разряде. При использовании оптического резонатора была впервые получена генерация на самоограниченных переходах молекулярного водорода в индуктивно связанной плазме. Исследования спектрального состава показали, что при давлении 0,5–0,8 торр максимальную интенсивность имеют две полосы: (1-0) с $\lambda=0,89$ мкм и (0-0) с $\lambda=1,12$ мкм, соответствующие переходу $2s\sigma^1\Sigma_g^+(E)-(2ps)^21\Sigma_g^+$. Была достигнута импульсная мощность генерации 7кВт с длительностью импульса 18 нс. Распределение энергии по линиям зависело от параметров оптического резонатора. Лазерный пучок в поперечном сечении имел форму кольца с внешним диаметром 34 мм и толщиной около 4 мм.

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

СТАБИЛИЗАЦИЯ МЕЖМОДОВОЙ ЧАСТОТЫ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ТИТАН-САПФИРОВОГО ЛАЗЕРА ПО Nd:YAG/I₂ СТАНДАРТУ ЧАСТОТЫ

Н. А. Коляда

Институт лазерной физики СО РАН

Новосибирский государственный технический университет

Фемтосекундные оптические часы (ФОЧ) позволяют осуществлять синтез и измерение частот от радио до УФ диапазонов с точностью, определяемой частотными характеристиками оптического стандарта. Для деления оптической частоты стандарта до радио диапазона используются фемтосекундные лазеры с синхронизацией мод: титан-сапфировый, хром-форстеритовый, иттербиевый и др. В основе применений этих лазеров лежит их способность генерировать широкий спектр узких строго эквидистантных линий оптического излучения с постоянной интенсивностью.

В работе использовался фемтосекундный титан-сапфировый лазер. Параметры используемого лазера следующие: длительность импульса 30 фс, центральная длина волны 0,81 мкм, частота повторения 500 МГц, средняя выходная мощность 600 мВт. Источником накачки служил лазер Verdi-V8 фирмы Coherent, мощность накачки 5 Вт.

При использовании фемтосекундного лазера для создания ФОЧ требуется стабильность параметров световых импульсов, таких как межмодовая частота, абсолютная частота отстройки и др. Стабилизацию межмодовой частоты можно достичь с помощью Nd:YAG/I₂ стандарта. Параметры стандарта: длина волны излучения 1,064 и 0,532 мкм, средняя мощность 70 мВт и 10 мВт соответственно, параметр Аллана составляет $\sim 10^{-14}$ (за 100с).

Принцип работы разработанной и реализованной схемы стабилизации следующий. Спектр фемтосекундного лазера был уширен в микроструктурном оптическом волокне. Ширина спектра прошедшего через волокно превысила октаву (максимальная частота в гребенке в два раза больше минимальной). Из спектра были выделены области длин волн 1,064 мкм и 0,532 мкм. Затем получены их биения с первой и второй гармоникой Nd:YAG/I₂ стандарта. Частоты биений суммированы. Суммарная частота была стабилизирована с помощью блока фазовой автоподстройки (ФАП). Стабильность межмодовой частоты фемтосекундного титан-сапфирового лазера была измерена с помощью водородного стандарта.

Научные руководители – С.А. Кузнецов, канд. физ.-мат. наук В.С. Пивцов

ПРОДОЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ В ДВУХСЕРДЦЕВИННОМ ВОЛОКНЕ

И. А. Лобач

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Отличительной особенностью многосердцевидных волокон является наличие взаимодействия излучения в различных сердцевинах. В работе [1] на основе двухсердцевидного волокна реализовали ответвитель с переменным коэффициентом деления. Принцип работы устройства основан на том, что взаимодействие сердцевин зависит от напряжений в волокне – кручения и изгиба. Такое поведение можно объяснить влиянием фотоупругого эффекта на относительную отстройку волновых векторов мод сердцевин, которая в свою очередь изменяет связь сердцевин. Но в работах по данной теме данную гипотезу проверяли лишь частично – по выходной мощности в сердцевинах при различных напряжениях в волокне. Однако уравнения связанных мод [2] с учетом фотоупругого эффекта позволяют получить продольное распределение мощности в сердцевинах.

Для проверки теоретических предсказаний впервые был проведен эксперимент по измерению зависимости распределения мощности в сердцевинах по длине. Излучение Nd³⁺:YAG лазера заводилось в одну из сердцевин образца длиной 40 см с постоянным радиусом кривизны. С помощью 20-кратного объектива и КМОП-матрицы измерялась интенсивность рассеянного излучения в каждой сердцевине вдоль всей длины волокна. По величине рассеянного излучения определялась мощность в сердцевинах. Были измерены зависимости распределения мощности по сердцевинам от продольной координаты при различных радиусах кривизны. По полученным данным измерена разность показателей преломления сердцевин $\delta n = 1,1 \cdot 10^{-4}$, которая приводит к отсутствию взаимодействия мод в прямом волокне.

В итоге было получено качественное согласие теоретической модели и экспериментальных данных, что говорит как о достоверности предложенной методики измерения продольного распределения мощности в волокнах, так и о влиянии фотоупругого эффекта на связь мод.

-
1. D. Drolet, R. Vallee, Opt. Lett. 18, 408-410, (1993)
 2. A.W. Snyder, J. Opt. Soc. Am. 62, 1267-1277, (1972)

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАННЫХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР В ФОТОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ С ФОТОИНДУЦИРОВАННЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

А. С. Лыков, Е. С. Черкашин, Л. А. Кузьмина, Е. Б. Пучинина,
И. С. Тонышева
Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники

Изучение мультиплексированных дифракционных решеток (МДР), записанных в фотополимерных материалах (ФПМ), представляют значительный интерес в связи с возможностью реализации на их основе устройств мультиплексирования оптических сигналов для мнговолновых волоконно-оптических систем передачи передачи..

Целью данной работы является экспериментальное исследование формирования и дифракционных свойств мультиплексированных дифракционных структур в поглощающих ФПМ в процессе последовательного углового мультиплексирования одиночных решеток.

Экспериментальные исследования записи мультиплексированных ДР в ФПМ были проведены на образцах, изготовленных в ООО «Полимерные голограммы- Новосибирск». По результатам анализа кинетик записи и селективных дифракционных свойств одиночных ДР были определены амплитуда и степень неоднородности профиля первой гармоники с учетом фотоиндуцированного изменения оптического поглощения (ФИОП), которое в исследуемых ФПМ составила 1,8 раза. Путем численного моделирования на основе модели последовательного формирования ДР в поглощающих ФПМ [1] было определено количество мультиплексированных ДР при заданной дифракционной эффективности, а также время записи каждой решетки. Экспериментально было записано 5 мультиплексированных ДР с углом разноса 5^0 . Угловая селективность и максимальный уровень дифракционной эффективности каждой из МДР отличались не более чем на 6%. Сравнение уровней боковых лепестков и форм кривых угловых селективностей МДР полученных в эксперименте с результатами моделирования показало хорошее согласие.

Работа выполнена в рамках проекта РНП 2.1.1.429 программы «Развитие научного потенциала высшей школы на 2009-2010 г.».

1. Довольнов Е.А., Шарангович С.Н // Оптика и спектроскопия . 2008. - Т.105. -№2. - С.336-345.

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

РАЗРАБОТКА КОГЕРЕНТНОГО ОПТОВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА НА ЭФФЕКТЕ ГЕТЕРОДИНИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ЧАСТОТНО- МОДУЛИРУЕМОГО ОДНОЧАСТОТНОГО ЛАЗЕРНОГО ДИОДА

И. Н. Немов

КТИ научного приборостроения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Задача бесконтактного высокоточного измерения расстояний до любой поверхности, является одной из актуальнейших в современном производстве. В данный момент, отечественная промышленность не выпускает дальномеров, способных измерять расстояния до десятков метров с точностью до десятков микрон до произвольных поверхностей (включая диффузные), а существующие иностранные аналоги таких приборов стоят на порядок дороже себестоимости.

В связи с этим, было решено разработать и сделать прибор для измерения расстояний, не уступающий по характеристикам иностранным аналогам. Наиболее перспективным методом измерения расстояний, для использования в таком дальномере, является интерферометрический метод на основе непрерывной частотной модуляции лазерного излучения (FMCW). Развитие полупроводниковой техники привело к появлению относительно дешевых и компактных DFB (Distributed Feedback) лазеров, работающих в одночастотном режиме и имеющих в этом режиме нестабилизированную ширину линии до 1МГц. Частота излучения лазера легко перестраиваема в пределах сотен ГГц, что позволяет реализовать принцип измерения расстояний на эффекте когерентного оптического гетеродинамирования, в промышленной установке.

В работе описывается принцип работы и устройство оптоволоконного лазерного бесконтактного дальномера на основе эффекта оптического гетеродинамирования излучения и описаны способы улучшения параметров установки, такие как обратное смещение частоты (counter-chirp), для исключения влияния внешних факторов, таких как вибрация объекта. Так же добавление опорной ветви установки дает возможность для калибровки, линеаризации и стабилизации частоты лазера, что также приводит к улучшению точности.

1. Daniel Nordin, Optical Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) Range and Velocity Measurements, Lulea Institute of Technology, 2004

Научный руководитель – канд. техн. наук И. Н. Куропятник

КОНСТРУИРОВАНИЕ БРЭГГОВСКОГО ПРЯМОУГОЛЬНОГО ОПТИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА С НАИМЕНЬШИМИ ФАЗОВЫМИ ИСКАЖЕНИЯМИ

А. В. Немыкин

Новосибирский государственный университет

Волоконные оптические фильтры находят многочисленные применения в лазерах, сенсорах, оптических линиях связи. В современных линиях используется спектральное уплотнение каналов (WDM системы), для которых принципиально важными являются фильтры с плоской вершиной, резкими границами, без осцилляций на «крыльях» для достижения высокого коэффициента использования окна канала и минимальных перекрестных помех. В дополнение требуется отсутствие фазовых искажений, вносимых решеткой, т.е. практически постоянная групповая задержка сигнала внутри брэгговской полосы отражения. В противном случае, импульс по мере распространения в волокне будет необратимо разрушен нелинейной дисперсией.

Дисперсионные соотношения между амплитудой и фазой коэффициента отражения делают требования несовместимыми. Практической задачей является создание фильтра, близкого к идеальному. В работе [1] предложен функционал искажений, среднеквадратичная групповая задержка в полосе отражения. Однако, минимизация функционала была проведена только для случая слабоотражающей решетки. В настоящей работе оптимизация решетки выполнена в практически важном случае высокого коэффициента отражения. Функционал искажений минимизирован в дифференциальном приближении, когда ядро интегрального оператора в дисперсионном соотношении представляется в виде производной δ -функции Дирака. Это приближение упрощает функционал, а полученное уравнение Эйлера для его экстремали сводится к нелинейному дифференциальному уравнению четвертого порядка. Приближение справедливо, когда спектр отраженного сигнала меняется плавно и не содержит слишком крутых фронтов.

Краевая задача для уравнения четвертого порядка решалась численно методом стрельбы. Полученные оптимальные высокоотражающие решетки по форме амплитудного спектра приближаются к прямоугольным, но вызывают значительно меньшие фазовые искажения.

1. O.V. Belai, D.A. Shapiro, Minimization of dispersion for symmetric FBG optical filters, Opt. Commun., 281 (2008) 3291-3294

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

РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДИФРАКЦИОННОЙ ОПТИКИ

В. Д. Паранин

Самарский государственный аэрокосмический университет
им. академика С. П. Королёва

Дифракционные оптические элементы (ДОЭ) широко используются в качестве фокусаторов оптического излучения в произвольную область, корректоров волнового фронта, выполняют функции спектрального и амплитудного преобразования. К настоящему времени сформированы обобщенные теоретические модели и методы расчета и синтеза ДОЭ со статическими параметрами.

Одним из путей развития дифракционной оптики является создание перестраиваемых дифракционных элементов с управляемыми (адаптивными) оптическими характеристиками, что позволит расширить функциональность элементов и устройств на их основе.

Целью настоящей работы является разработка методов построения управляемых ДОЭ, формирование системы их классификация на основе конструктивных и функциональных признаков, формулирование задачи расчета и синтеза.

В работе приводится анализа методов искусственного фазирования оптической поверхности на основе различных функциональных материалов и эффектов, дается оценка технической и технологической сложности реализации перестраиваемых ДОЭ и систем управления, их безотказности, стабильности рабочих параметров для различных условий эксплуатации. Формируется обобщенное математическое описание базового адаптивного дифракционного элемента (БАДЭ) на основе положений теории дифракции световой волны, спектрально-амплитудного взаимодействия компонент управляемых дифракционных элементов с оптическим излучением, теории распространения световых волн в анизотропных средах. С использованием частных моделей проводится анализ функциональных возможностей и основных рабочих параметров БАДЭ. Анализируются возможности создания спектрально- и поляризационно-избирательных БАДЭ с целью уплотнения информации, передаваемой по оптическому каналу. Вводится понятие многокомпонентного адаптивного дифракционного элемента (МАДЭ) и рассматриваются различные конструктивные варианты их исполнения на основе конструктивных и функциональных признаков элементов и средств управления, наличия дополнительных возможностей уплотнения информации, средств стабилизации рабочих параметров элементов.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. С. А. Матюнин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОЛИНЗЫ В АКТИВНОЙ СРЕДЕ МОЩНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА

Д. А. Раднатаров

Новосибирский государственный университет

Кристаллы Nd:YVO_4 успешно применяются в качестве активной среды лазеров благодаря высокому квантовому выходу люминесценции. Однако эти кристаллы обладают относительно низкой теплопроводностью, вследствие чего, при высоких мощностях излучения накачки в этих кристаллах возникает сильная термоиндуцированная линза, которая существенным образом влияет на параметры лазерного пучка.

В данной работе предложен и апробирован метод использования термолинзы в активной среде для получения лазерного пучка с неизменными пространственными характеристиками во всем диапазоне мощностей излучения накачки.

Метод заключается в подборе параметров резонатора лазера таким образом, чтобы резонатор был устойчив только при наличии значительной термолинзы в активной среде лазера. Тогда регулировка мощности излучения лазера производится при небольшом изменении мощности излучения накачки вблизи максимального значения (см. Рис. 1), оптическая сила термолинзы изменяется при этом слабо и пространственные характеристики пучка излучения лазера остаются неизменными.

В среде Zetax была смоделирована система накачки, позволяющая рассчитывать оптимальные параметры фокусировки для наилучшего поглощения излучения в активной среде лазера.

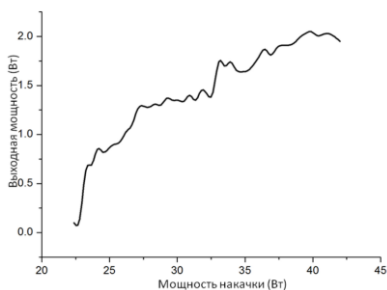


Рис. 1. Зависимость выходной мощности излучения Nd:YVO_4 лазера от мощности накачки.

Таким образом, в данной работе получено одночастотное одномодовое излучение на длине волны 532 нм с мощностью до 2 Вт, при этом для изменения выходной мощности во всем диапазоне, мощность накачки изменялась с 23 до 45 Вт, а фокусное расстояние термолинзы от 13 до 8 см.

Предложенный метод позволяет использовать термолинзу в активной среде лазера для оптимальной настройки резонатора во всем диапазоне мощностей излучения накачки.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОВЫХ ВОЛН РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Е. С. Сенченко

Конструкторско-технологический институт научного приборостроения
СО РАН

Новосибирский государственный технический университет

В настоящее время достаточно хорошо исследованы методы оптического контроля плоских объектов (нулевой толщины). Эти методы основаны на формировании теневого изображения или Фурье-спектра изделия и определения расстояния между координатами, соответствующими краям объекта. Положению края объекта в его когерентном изображении соответствует координата, в которой интенсивность составляет 25% от значения ее в удаленных от края освещенных участках [1].

Однако на практике среди контролируемых изделий большую долю составляют трехмерные (3Д) объекты, в т.ч. объемные тела постоянной толщины. В этом случае указанные представления оказываются приближенными и могут приводить к значительным ошибкам, которые возникают благодаря вторичной дифракции на задней грани объекта. Для минимизации ее влияния при размерном контроле 3Д объектов в [2] предложено использовать световые волны различной конфигурации (плоские наклонные волны, сферические сходящиеся и расходящиеся волны).

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований по определению параметров объемных тел с помощью волн различной конфигурации. Показано, что выбором конфигурации освещающей волны можно заметно уменьшить вклад вторичной дифракции в анализируемое поле и таким образом повысить точность измерений геометрических характеристик 3Д объекта. Полученные экспериментальные данные согласуются с результатами теоретических расчетов для случая формирования изображений 3Д объектов в дифракционно – ограниченной системе.

1. Yu. V. Chugui and B. E. Krivenkov, Fraunhofer diffraction by bodies of constant thickness, Optical Society of America, 617 (1989);

2. Yu. V. Chugui and K. A. Zebreva, 3D diffraction by volumetric bodies of constant thickness under varying illumination applied to optical inspection, Measurement Science and Technology, 1729 (2007).

Научный руководитель – д-р тех. наук, проф. Ю. В. Чугуй

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ИСТОЧНИК НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА УСИЛЕНИЯ СПОНТАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЭРБИЕВОМ ВОЛОКНЕ

В. А. Симонов

Институт автоматики и электрометрии
Новосибирский государственный университет

Атом, находясь в возбужденном состоянии, может спонтанно перейти в основное, излучив фотон. Спонтанное излучение, распространяясь в активной среде, усиливается за счет вынужденного испускания. Данный эффект положен в основу работы лазеров, однако лишив лазер резонатора, при определенных условиях можно получить и широкополосный источник излучения. Первый широкополосный источник на основе эффекта усиления спонтанного испускания (УСИ) в эрбиевом волокне был описан в 1988 г. [1]. Ввиду большой ширины спектра излучения ионов эрбия (Рис. 1), на основе эрбиевых волокон, можно создавать источники с шириной спектра на полувысоте в несколько десятков нанометров [2].

Оптоволоконные источники на основе эффекта УСИ применяются для тестирования оптических компонентов, в спектроскопии и телекоммуникациях, а также в сенсорных системах.

Целью данной работы является создание высокоэффективного источника в области 1550 нм с максимально широким и гладким спектром.

В ходе работы на основе оптоволоконных элементов был собран макет широкополосного источника. Излучение накачки с длиной волны 980 нм через направленный ответвитель заводилось в эрбиевое волокно.

Спектр УСИ наблюдался в прямом (по направлению излучения накачки) и в обратном направлениях. В зависимости от мощности накачки и длины активного волокна измерялись такие характеристики источника как ширина и гладкость спектра, а также выходная мощность.

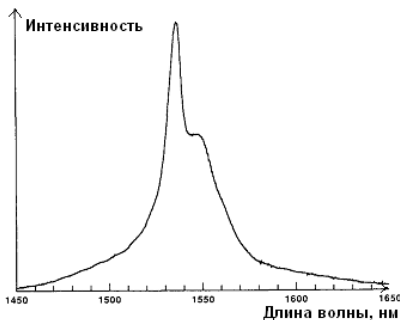


Рис. 1 Спектр излучения волокна, легированного ионами эрбия.

1. K. Lui et al., Broadband Diode-Pumped Fiber Laser, *Electr. Lett.*, Vol. 24, 1988.

2. W. J. Miniscalco, Erbium-Doped Glasses for Fiber Amplifiers at 1500nm, *Journal of Lightwave Tech.*, Vol. 9, No. 2, 1991.

Научный руководитель – И. С. Шелемба

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНИМОСТИ УРАВНЕНИЯ СВЯЗАННЫХ МОД ДЛЯ РАСЧЕТА СПЕКТРА ВОЛОКОННОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ

С. Ю. Смелянский
Новосибирский государственный университет

Волоконные брэгговские решетки в настоящее время широко применяются в телекоммуникациях, лазерах и сенсорных устройствах [1]. Брэгговской решеткой называется одномерная структура с периодическим изменением показателя преломления. Распространения волн в решетке описывается уравнениями связанных мод (УСМ). Область применимости этих уравнений ограничена условиями медленности амплитудной и фазовой модуляции. Глубина модуляции и отстройка частоты света от резонанса должны быть малыми.

Для количественной проверки границ применимости решалось более общее одномерное уравнение Гельмгольца (УГ). Спектры отражения, полученные с помощью численного решения УГ и УСМ сравнивались между собой. Для расчета использовалась решетка с огибающей вида

$$\delta n = \frac{Q}{L \cdot \cosh\left(\frac{K \cdot x}{L}\right)},$$

где δn переменная часть показателя преломления, x координата, L – характерная длина решетки, Q — оптическая сила решетки, а K – пространственная частота модуляции. Для такой огибающей решение УСМ выражается через гипергеометрические функции Гаусса [2].

Показано, что при глубине модуляции 10^{-3} спектры отражения УГ и УСМ совпадали между собой и с аналитическим решением с точностью до нескольких процентов. Показано, что с увеличением глубины модуляции погрешность УСМ увеличивается.

-
1. R. Kashyap, Fiber Bragg Gratings. Academic Press, New York, 1999.
 2. D. A. Shapiro. Family of exact solutions for reflection spectrum of Bragg grating, Optic. Comm. 215, 4-6 (2003).

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

ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 457 НАНОМЕТРОВ ДЛЯ СПЕКТРОСКОПИИ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ АТОМОВ МАГНИЯ В МАГНИТО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛОВУШКЕ

Р. Э. Тюменев

Институт лазерной физики СО РАН
Новосибирский государственный университет

Сильное развитие техники охлаждения и захвата атомов и ионов, а также развитие лазеров и стабилизации частоты, в последние годы предоставило возможность создания оптического стандарта частоты, более точного и стабильного, чем существующий на сегодняшний день цезиевый аналог. Для создания такого стандарта требуется стабильный источник лазерного излучения, обладающий как можно более узкой линией генерации.

Целью представленной работы является создание источника лазерного излучения на длине волны 457 нм (часовой переход атомов магния 1S_0 - 3P_1) с узкой линией генерации для спектроскопии холодных атомов магния.

В данном эксперименте источником лазерного излучения на длине волны 914 нм служил титан сапфировый лазер, с накачкой аргоновым лазером, мощностью 18Вт. Частота излучения на длине волны 914 нм удваивалась в резонаторе с нелинейным кристаллом $KNbO_3$. Для стабилизации частоты титан сапфирового лазера использовался высокодобротный резонатор Фабри-Перо и система обратной связи. Настройка частоты лазерного излучения на частоту перехода 1S_0 - 3P_1 в атоме магния осуществлялась на основе явления насыщенного резонансного поглощения, при помощи ячейки, заполненной парами магния.

В результате проведенных экспериментов был создан источник лазерного излучения на длине волны 457 нм, с шириной линии генерации порядка 10 КГц и выходной мощностью 100 мВт и возможностью перестройки частоты излучения вблизи часового перехода атомов магния. Стабилизация частоты излучения по резонансам насыщенного поглощения во внешней ячейке позволила устранить медленный дрейф частоты излучения.

1. J. Keupp W. Ertmer, A high-resolution Ramsey-Bord'e spectrometer for optical clocks based on cold Mg atoms, Eur. Phys. J.D 36, 289 (2005).

2. Y.Loo, D. Madsen, Investigations of a two-level atom in a magneto-optical trap using magnesium, J. Opt. B:Quantum Semiclass. Opt. 6, 81 (2004).

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

ДИФРАКЦИЯ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ НА НЕОДНОРОДНОЙ ФПМ-ЖК ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ С УЧЕТОМ СТАТИСТИКИ ЖК МОЛЕКУЛ И ЭЛЕКТРОИНДУЦИРОВАННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗОВОЙ РАССТРОЙКИ

Б. Ф. Ноздреватых, С. В. Устюжанин

Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Голографическое формирование дифракционных решеток (ДР) в фотополимерном материале с жидкокристаллической компонентой (ФПМ-ЖК) является наиболее привлекательным способом формирования ДР в таких материалах. При большой концентрации молекул жидкого кристалла (ЖК) в образце они группируются в капсулы, в которых ориентация молекул ЖК определяется гауссовской статистикой [1]. В работе [2] представлена математическая модель дифракции световых пучков на неоднородной ДР, образованной в ФПМ-ЖК, с учетом статистики распределения молекул жидкого кристалла в капсулах и ориентационного влияния электрического поля.

Целью данной работы является развитие математической модели, представленной в [2], с учетом электроиндуцированного изменения фазовой расстройки, и изучение на основе численного моделирования дифракционных свойств ДР.

В работе взаимодействие световых пучков в области дифракции в ФПМ-ЖК материале определяется решениями двух систем уравнений связанных волн (УСВ) в частных производных для обыкновенных и необыкновенных волн, которые в аппретурных координатах можно представить методом Римана для нулевого и первого порядка дифракции в интегральной форме.

На основе численного моделирования в работе исследованы зависимости дифракционной эффективности, селективных и поляризационных характеристик ДР от приложенного электрического поля, фазовой расстройки при различных величинах затухания образца для продольной и поперечной координат с учетом массовой доли ЖК и неоднородности нормированного профиля первой гармоники показателя преломления ДР.

Работа выполнена по проекту № РНП.2.1.1.429 программы «Развитие научного потенциала высшей школы на 2009-2010 г.»

1. Richard L. Sutherland. // JOSA B., V. 19, №. 12 (2002).

2. Устюжанин С.В., Шарангович С.Н.// Известия вузов. Физика. Т.51., № 9/3 (2008).

УДВОЕНИЕ ЧАСТОТЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛОКОННОГО ВКР-ЛАЗЕРА

Д. С. Харенко, А. В. Денисов
Институт автоматики и электротехники СО РАН
Новосибирский государственный университет

Волоконные лазеры являются стабильными источниками лазерного излучения большой мощности в ближнем инфракрасном диапазоне. ВКР-лазер является одним из типов волоконных лазеров и позволяет осуществлять высокоэффективное (~50%) преобразование излучения в более длинноволновую область спектра, в которой практически не существует источников лазерного излучения (1.1-1.5 мкм). Переход в видимую часть спектра существенно расширяет область применений волоконных лазеров. Основным направлением работ в этой области является генерация второй гармоники (ГВГ) в нелинейных кристаллах.

Известно, что спектр ВКР-лазера сильно уширяется с ростом мощности. Это является фактором, существенно ограничивающим эффективность ГВГ. Несмотря на то, что число работ в этом направлении постоянно растёт, адекватной модели удвоения многочастотного излучения не предложено. В работе было проведено исследование ГВГ в условиях, когда ширина спектра ВКР-лазера существенно превышала ширину синхронизма кристалла. На основе [1] была разработана модель удвоения многочастотного излучения для конечной ширины синхронизма кристалла. Результаты расчёта мощности и спектров второй гармоники хорошо согласуются с экспериментальными данными. Показано, что процесс суммирования различных мод ВКР-лазера вносит определяющий вклад в мощность второй гармоники, обеспечивая её линейный рост только за счёт уширения спектра. Более того эффективность удвоения многочастотного излучения может превышать эффективность для одночастотного, что также отмечалось в [1] и было подтверждено в наших экспериментах.

В результате данной работы был создан источник непрерывного лазерного излучения на длине волны 655 нм мощностью более 60 мВт и эффективностью преобразования ~1%, основанный на ГВГ неполяризованного многочастотного ВКР-лазера. Была построена модель, описывающая полученные экспериментальные зависимости.

1. В. Г. Дмитриев, Л. В. Тарасов, Прикладная нелинейная оптика (М., Радио и связь, 1982).

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук С. И. Каблуков, канд. физ.-мат. наук Д. В. Чуркин

МОЩНЫЙ ИСТОЧНИК НЕПРЕРЫВНОГО ОДНОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 266 НМ

С. А. Хрипунов

Новосибирский государственный университет

В работе приведены результаты исследования генерации второй гармоники излучения во внешнем высокочастотном резонаторе при мощной накачке на длине волны 532 нм. Лазером накачки являлся непрерывный одночастотный твердотельный лазер на кристалле Nd:YVO₄. Удвоение частоты непрерывного излучения во внешнем резонаторе позволяет реализовать эффективное нелинейное преобразование длины волны излучения лазера без изменения его конструкции. Эффективность преобразования в значительной степени зависит от качества согласования мод лазера и внешнего резонатора, оптимального выбора нелинейного кристалла и коэффициента пропускания входного зеркала внешнего резонатора. Расчет и экспериментальная оптимизация телескопа для согласования мод, нелинейного кристалла ВВО и входного зеркала резонатора позволили достичь увеличения мощности излучения во внешнем резонаторе более, чем в 60 раз. При мощности излучения накачки 8,5 Вт (532 нм) получено стабильное излучение мощностью 2,15 Вт на длине волны 266 нм (рис. 1). В данной реализации полученная мощность одночастотного УФ излучения на длине волны 266 нм является наибольшей достигнутой на сегодняшний день.

Рис 1. Экспериментальная зависимость мощности излучения второй гармоники (266нм) от мощности входного излучения (532 нм). Эффективность преобразования на линейном участке зависимости: 30%.



В работе приведены результаты расчетов внешнего резонатора, оптимальной фокусировки излучения для нелинейного кристалла заданной конфигурации, расчетная зависимость коэффициента преобразования излучения во вторую гармонику от коэффициента пропускания входного зеркала лазера. Описана система "привязки" внешнего резонатора к частоте входного излучения, обсуждаются особенности использования нелинейных кристаллов ВВО во внешних резонаторах при внутррезонаторной мощности непрерывного излучения достигающей нескольких сотен Ватт.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. М. Кобцев

ИССЛЕДОВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ОПАЛА ЭЛЛИПСОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В. П. Чубаков

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Фотонные кристаллы (ФК) вызывают значительный интерес в связи с возможностью создания оптических сред с заданными функциональными свойствами [1]. Искусственные монокристаллические пленки опала являются хорошими аналогами трехмерных ФК. Они сформированы из монодисперсных сферических частиц аморфного кремнезёма (МСЧК) с диаметром от 190 до 500 нм, уложенными в гранецентрированную кубическую (ГЦК) решетку. Вследствие Брэгговской дифракции света на периодических кристаллических плоскостях ГЦК решетки такие структуры обладают стоп-зоной.

Оптическая эллипсометрия является оперативным и неразрушающим методом контроля качества сформированных пленок опала, измерения их толщин, пористости, показателей преломления и поглощения, а также их поляризационных свойств.

В данной работе методом спектральной эллипсометрии исследованы пленки искусственных опалов (размером $\sim 1 \text{ см} \times 2,5 \text{ см}$), сформированные на стеклянных подложках. Пленки имели толщину около 3 мкм, что составляло примерно 15 слоев МСЧК диаметром 250 нм. Слои пленки, параллельные подложке, соответствовали кристаллическим плоскостям [111] ГЦК решетки [2]. Из эллипсометрических измерений следует, что величина пористости полученных пленок опала составляет $f = 0,74$ и совпадает с расчетной для структуры с укладкой МСЧК в ГЦК решетку, что доказывает их сферическую форму и отсутствие спаек в местах касания. Обнаружено, что в области стоп-зоны полученные образцы монокристаллических пленок опала обладают заметной дисперсией эллипсометрических углов ψ и Δ . Измеренное значение угла $\Delta = 2 \div 5^{\circ}$ указывает на наличие двулучепреломления в пленках опала. На длинах волн вне стоп-зоны его величина составляла порядка $\Delta n \sim 10^{-3}$ которая варьировалась в зависимости от конкретного образца.

1. K. Sakoda Optical Properties of Photonic Crystals, Springer-Verlag Heidelberg (2005).

2. А. И. Плеханов, Д. В. Калинин, В. В. Сердобинцева. Нанокристаллизация монокристаллических пленок опала пленочных опаловых гетероструктур. Российские нанотехнологии, №1,2. 216 (2006).

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

ИТТЕРБИЕВЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Д. Е. Чурин

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

В ряде приложений приобретают популярность волоконные лазеры с распределенной обратной связью (РОС) [1] благодаря таким свойствам как стабильная генерация одночастотного излучения с малой шириной спектра, компактность и надежность. Применения РОС лазеров обширны: спектроскопия сверхвысокого разрешения, эффективная генерация второй гармоники, сенсоры, лазерная локация. Резонатор РОС-лазера представляет собой участок активного волокна длиной 4-10 см, с записанным в нем волоконной брэгговской решеткой (ВБР) с π -сдвигом. В спектре отражения ВБР возникает узкий провал благодаря π -сдвигу. Такая схема резонатора позволяет получить генерацию на одной продольной моде. Ширина линии излучения подобного лазера без активной стабилизации частоты генерации составляет порядка 100 кГц.

В данной работе изучались иттербиевые РОС-лазеры [2] с длиной волны генерации 1093 нм. ВБР были записаны в активном волокне с двулучепреломлением, что давало генерацию на двух поляризационных модах, отстоящих друг от друга на 60 ГГц. Мощность лазера при накачке 150 мВт однодиодным диодом на 976 нм достигала 3 мВт для одной поляризации и 1.5 мВт для другой. При изменении поляризации накачки, изменялось отношение сигналов поляризационных мод в 4 раза. Изгибом волокна или его скручиванием вокруг продольной оси генерация одной из поляризационных мод могла быть подавлена.

Спектральные характеристики ВБР были получены с помощью перестраиваемого в диапазоне 1092.5-1093.5 нм РОС-лазера. Ширина провала в спектре отражения для разных решеток составила 50-150 МГц.

Ширина спектра генерации записанных РОС-лазеров измерялась методом сбивания с перестраиваемым РОС-лазером и составила 50-100 кГц. Также было измерено распределение интенсивности генерируемого сигнала вдоль решетки.

В работе изучены спектральные и мощностные характеристики иттербиевых волоконных РОС-лазеров. Это необходимо для оптимизации параметров резонатора и режима записи образующей его ВБР.

1. J. T. Kringlebotn et al., Opt. Lett., v.19, 1994, p. 2101

2. A. Asseh et al., Electronics Lett., v. 31, 1995, p. 969

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКА ШАКА-ГАРТМАНА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДИФРАКЦИОННО-РЕФРАКЦИОННЫХ ИНТРАОКУЛЯРНЫХ ЛИНЗ

И. В. Щесюк, А. С. Гутман
Институт автоматики и электротехники СО РАН
Новосибирский государственный университет

В работе рассмотрена возможность применения датчика Шака-Гартмана (ШГ) для измерения оптических характеристик (ОХ) двухфокусных дифракционно-рефракционных интраокулярных линз (ДРИОЛ). Проблема контроля данных линз весьма актуальна в настоящее время ввиду их активного внедрения в офтальмологической практике, увеличения числа производителей и типов линз. До настоящего времени не разработаны методы автоматизированного контроля таких линз. Исследование возможности применения датчика ШГ обусловлено его широкой функциональностью, охватывающей все параметры ДРИОЛ, требуемые стандартом [1], а также высокой надежностью и нетребовательностью к калибровке.

При прямом измерении ДРИОЛ на длине волны, рекомендуемой стандартом ($\lambda_{ст} = 546\text{нм}$) в плоскости видеокамеры датчика ШГ образуются два набора фокальных пятен (соответствующих +1 и +2 порядкам дифракции в воздухе), которые сложно разделить и идентифицировать. Поэтому предложен новый метод контроля. В соответствии с ним, волновая aberrация ИОЛ измеряется последовательно на двух длинах волн λ_{+1} , λ_{+2} , при которых дифракционная структура функционирует в одном порядке: +1-ом либо +2-ом. Используя значения показателя преломления материала ИОЛ $n(\lambda_{+1})$, $n(\lambda_{+2})$, $n(\lambda_{ст})$, возможно восстановить волновую aberrацию ДРИОЛ в стандартных условиях.

Проведенный в работе математический анализ метода показал высокие требования к точности определения показателя преломления полимера линзы и к точности восстановления волнового фронта датчиком ШГ. Ввиду высокой пластичности полимера для измерения показателя преломления выбран метод на основе эффекта полного внутреннего отражения света. При этом измеряемый слой полимера фотоотверждается непосредственно на одной из граней измерительной призмы.

Проведенные исследования показали принципиальную применимость датчика Шака-Гартмана для задач автоматизированного контроля ДРИОЛ.

1. ГОСТ Р 52038-2003 Имплантаты офтальмологические. Интраокулярные линзы.

Научный руководитель - канд. техн. наук В. П. Корольков

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ РИДБЕРГОВСКИХ АТОМОВ РУБИДИЯ В МАГНИТО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛОВУШКЕ

Е. А. Якшина

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

Для экспериментальной реализации зацепленных состояний большой интерес представляет диполь-дипольное взаимодействие ридберговских атомов. Для изучения данного вида взаимодействия необходима локализация ридберговских атомов в малый объем. В этом случае становится возможным возбуждение атомов, находящихся на малых (порядка нескольких микрон) расстояниях друг от друга и сильно взаимодействующих.

Возбуждение ридберговских атомов рубидия в нашей работе проводилось по трехступенчатой схеме. Область возбуждения была локализована в сферическом объеме, образованном пересечением лазерных пучков второй и третьей ступеней под прямым углом.

Для получения как можно меньшего объема возбуждения ридберговских атомов необходимо жестко фокусировать возбуждающее лазерное излучение в облако холодных атомов в магнито-оптической ловушке. Исследование различных способов фокусировки излучения позволило определить, что наилучшие результаты в данной схеме эксперимента получаются с использованием ахроматических объективов с фокусным расстоянием 80 мм.

Использование одномодового оптического волокна позволило улучшить механическую стабильность системы возбуждения, уменьшить число оптических элементов (и таким образом, избежать большого числа aberrаций), улучшить пространственное распределение лазерного излучения.

При заданном фокусном расстоянии, улучшение фокусировки возможно за счет применения пучков большого диаметра. Измерена зависимость размера фокусного пятна от диаметра входящего лазерного пучка. Минимальный размер фокусного пятна, достигнутый при коллимации излучения на выходе волокна в пучок диаметром 15 мм и измеренный с помощью проекционного объектива и ПЗС-камеры, составил 10 мкм, что близко к дифракционному пределу фокусировки. Согласно теоретическим расчетам, это достаточно для наблюдения диполь-дипольного взаимодействия в данных экспериментальных условиях.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. И. Бетеров

РАДИОФИЗИКА

ГЕНЕРАТОР СИНУСОИДАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ С ЧАСТОТОЙ ДО 20КГЦ, АМПЛИТУДОЙ ДО 100 В И МОЩНОСТЬЮ ДО 600 Вт ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТОПРОВОДОВ

И. И. Авдеев

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

В данном докладе описывается устройство генератора синусоидальных сигналов с частотой до 20кГц, амплитудой до 100 В и мощностью до 600 Вт для измерения параметров магнитопроводов. Устройство предназначено для измерения параметров магнитопроводов, таких, как потери при разных рабочих частотах, максимальная индукция, характеристики петли гистерезиса. Измерение производится путем подачи на обмотку магнитопровода синусоидального напряжения с заданными частотой и амплитудой и регистрации потребляемого тока. В режиме реального времени проводится предобработка данных в самом устройстве. По окончании измерений данные передаются в персональный компьютер для более тщательного анализа. Устройство состоит из цифровой схемы управления и силовой части. Схема управления собрана на основе микроконтроллера архитектуры AVR и подключается к персональному компьютеру по интерфейсам USB и RS-232. Силовая часть представляет собой MOSFET мост, выход которого подключен к фильтру. Транзисторный мост управляется, поступающим со схемы управления, ШИМ-сигналом, который сглаживается до синусоидального в фильтре и подается через датчик тока на нагрузку — обмотку магнитопровода. Выход, через делитель напряжения, и датчик тока подключены к двухканальному АЦП. Данные из АЦП записываются в статическую память склеивающей логикой, реализованной на ПЛИС Altera, для дальнейшего чтения и обработки микроконтроллером. Управление генератором и анализ полученных данных проводится с помощью персонального компьютера.

Научные руководители — Д. В. Сеньков, канд. техн. наук
Ю. Ф. Токарев

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУППИРУЮЩЕГО 6,2 ГГц РЕЗОНАТОРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ЭЛЕКТРОННОЙ ДИФРАКЦИИ

А.Ю. Агеев

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

В Институте ядерной физики совместно с университетом Ludwig-Maximilians ведутся работы по созданию устройства для изучения быстропротекающих процессов в газах. В основе этого метода лежит принцип дифракции электронов на молекулах исследуемого образца. Разрешающая способность такого устройства, напрямую зависит от продольного размера электронного сгустка. Длительность пучка должна быть порядка ста фемтосекунд. Получение столь короткого пучка происходит по следующей схеме. Электронный сгусток с фото катода формируется коротким лазерным импульсом и ускоряется постоянным напряжением. Однако из-за начального разброса углов и продольных составляющих скоростей электронов происходит увеличение продольного размера сгустка, т.е. происходит разгруппировка пучка. Для уменьшения этого эффекта сгусток пропускают через модулирующий резонатор. Далее в пространстве дрейфа сгусток сжимается до нужного продольного размера.

Частота модулирующего резонатора 6.2 ГГц с рабочей модой колебаний E_{010} . Габариты резонаторов для подобных частот составляют нескольких сантиметров, что требует высокой точности в процессе изготовления. После изготовления резонатор требует тщательной настройки, в которую входит механическая доработка размеров резонатора. Изменения в геометрии резонатора могут повлиять на конфигурацию полей, которые влияют на динамику пучка.

Основной целью проекта, являлось произвести серию численных расчетов для оптимизации, согласования и настройки резонатора. В результате: исследованы различные способы доработки резонатора и выбраны оптимальные; получена таблица чувствительности частоты к геометрическим размерам; проведены расчеты по согласованию резонатора с блоком ВЧ питания. В настоящее время ВЧ блок собран и проходит стендовые испытания.

Научный руководитель – науч. сотр. К.Н. Чернов

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОПОГЛОТИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ Co_2Z ГЕКСАФЕРРИТА

А. Н. Бабинович

Томский государственный университет

Радиопоглощающие материалы (РПМ) находят широкое применение для биологической защиты персонала от влияния электромагнитного излучения, для экранирования радиоэлектронных средств, для снижения их взаимного электромагнитного влияния, для экранирования оборудования безэховых камер и снижения эффективной поверхности рассеивания. Для решения этих задач применяются магнитные материалы, которые наиболее эффективно работают как покрытие металлических поверхностей. РПМ на основе магнитных материалов имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами РПМ и позволяют, как правило, достичь большей широкополосности при меньшей толщине покрытия. Среди ферритов наиболее высокими дисперсионными частотами обладают ферриты с гексагональной структурой, которые являются наиболее перспективными материалами для микроволновой области частот.

Известно, что идеальным РПМ является материал, у которого значения диэлектрической $\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon''$ и магнитной $\mu = \mu' - i\mu''$ проницаемостей равны. В этом случае нет отражения от внешней границы покрытия и модуль коэффициента отражения, равный

$$R = \exp\left(-4\pi\sqrt{|\varepsilon||\mu|}d/\lambda\right), \quad (1)$$

может быть уменьшен до очень малого значения вне зависимости от толщины покрытия путем увеличения ε'' и μ'' .

На практике создание материала с $|\varepsilon| = |\mu|$ является сложной задачей, так как диэлектрические и магнитные свойства обусловлены различными физическими механизмами. Равенство диэлектрической и магнитной проницаемостей в узком диапазоне частот может быть достигнуто в многокомпонентных композиционных материалах.

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию радиопоглощающего композиционного материала на основе порошковой краски, магнитным наполнителем которой является порошок гексаферрита Co_2Z . Экспериментальный образец представляет собой шайбу, состоящую из проводящей подложки и слоя магнитодиэлектрика, нанесенного на нее.

В результате проведенной работы получены частотные зависимости коэффициента отражения слоя магнитодиэлектрика и проведено сравнение с расчетными величинами.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, О. А. Доценко

НЕКОГЕРЕНТНАЯ ТРАНСМИССИОННАЯ РАДИОТОМОГРАФИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛОСКОЙ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

К. В. Барышева

Томский государственный университет

Задача радиотомографии с целью обнаружения скрытых объектов находит применение в системах обеспечения безопасности, для обнаружения запрещённых предметов, в системах контроля качества на производстве для обнаружения дефектов и проверки целостности изделий. В настоящей работе рассматривается схема трансмиссионной радиотомографии с использованием несинхронизированного передатчика и приёмника. Для радиозондирования используется монохроматический сигнал на частоте 10 ГГц. Излучатель радиоволн находится в фиксированной точке пространства, а приёмник перемещается в плоскости за исследуемым объектом и измеряет прошедшее через объект поле с шагом менее половины длины волны. В качестве исследуемого объекта рассматривается плоская карта прозрачности, представляющая собой двумерную функцию. При восстановлении томографического изображения требуется получить разрешение неоднородностей сравнимое с длиной волны. Особенность задачи состоит в том, что нет возможности напрямую измерить фазу волны рассеянной исследуемым объектом, поскольку передатчик и приёмник не связаны. Отсутствие информации о фазе не позволяет применить технологию радара с синтезированной апертурой [1] для восстановления изображения объекта.

В данной работе предлагается использовать плоскую отражающую поверхность для передачи опорного сигнала от передатчика в приёмник в обход исследуемого объекта. В результате в плоскости измерений появляется интерференционная картина образованная опорным сигналом и сигналом, прошедшим через объект. Если считать, что амплитуда опорного сигнала много больше амплитуды предметного сигнала, приближённо возможно восстановить фазу волны прошедшей через исследуемый объект. Далее используя полученную информацию о фазе и технологию радара с синтезированной апертурой возможно восстановление плоского изображения исследуемого объекта. Численное моделирование подтвердило работоспособность метода.

1. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие для вузов/ Под ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: «Радиотехника», 2005. – 368 с.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Д. Я. Суханов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ С БОЛЬШОЙ БАЗОЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ СВЯЗИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЕРЕДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Е. Ю. Егоров

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского

Нехватка частотного ресурса в настоящее время является серьезной проблемой при организации беспроводной передачи данных. Одним из путей является использование безлицензионных диапазонов частот. Основное ограничение, накладываемое на аппаратуру, работающую в этих диапазонах — это низкая излучаемая мощность: до 10 мВт — что делает дальность связи очень небольшой.

Выходом из данной ситуации является использование сигналов с большой базой. Однако, так как расширение базы сигнала возможно только за счет увеличения его длительности, это приводит к тому, что скорость передачи падает. Типичной задачей, когда скорость передачи не играет большой роли, является передача телеметрической информации.

Было принято решение разработать систему связи, которая работала бы в безлицензионном диапазоне частот 433.92 МГц с излучаемой мощностью 10 мВт. Для приема сигналов с большой базой был разработан корреляционный приемник на базе плис фирмы XILINX.

Технические характеристики системы:

Частота несущего колебания	433.92 МГц
Ширина полосы	25 кГц
Модуляция	Двухпозиционная ФМ (BPSK)
Вид сигнала	M-последовательность длиной 511
Излучаемая мощность	10 мВт
Скорость передачи данных	25 бит/с

Испытания системы проводились по следующей схеме: транспортное средство с передатчиком на борту перемещалось по заранее определенному маршруту. В точке приема проверялась достоверность принятых навигационных данных, и транспортное средство отображалось на карте. Антенна базовой станции располагалась на крыше жилого шестнадцатизэтажного дома. Использовалась антенна типа волновой канал. Передатчик устанавливался на легковом автомобиле, антенна автомобильная ненаправленная.

Дальность связи достигла 10 км для подвижного объекта и 15 для неподвижного в условиях городской застройки. Аналогичных систем в известной литературе нет.

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

РАЗРАБОТКА CAN РЕГИСТРА ВВОДА/ВЫВОДА С ИЗОЛИРОВАННЫМИ КАНАЛАМИ

Р. А. Кадыров

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

В системе управления физическими установками ИЯФ СО РАН устройства блокировок и сигнализации (УБС) играют важнейшую роль. Цифровые сигналы УБС несут информацию о критических нагрузках системы, её перегреве и т.д. Все такие сигналы поступают на входы электронных модулей – регистров ввода/вывода. Они используются для опроса входных каналов, для записи в выходные каналы цифрового кода, а так же для обмена информацией с управляющими системами. Например, в один из входных каналов может подаваться информация с термодатчика при перегреве системы, а в один из выходных каналов – реакция управляющей системы на перегрев. Разработанный регистр, представляет собой электронный модуль и содержит 4 выходных и 20 входных каналов. Устройство выполнено в стандарте «евромеханика» и должно придти на замену регистров, выполненных в устаревших стандартах САМАС и ВИШНЯ. В ИЯФ подобные устройства используют интерфейс связи CAN с характерным протоколом и с успехом заменяют более дорогие промышленные изделия, выполненные в стандартах VME или CompactPCI. Разработанный регистр соответствует этому фактически сложившемуся внутреннему стандарту ИЯФ. Регистр является узлом CAN-шины и принимает пакеты только с определенным идентификатором. Программа встроенного микроконтроллера интерпретирует получаемые пакеты в команды ввода или вывода. Ход работы команды также может отображаться через интерфейс RS-232 в консоль терминальной программы.

Для защиты регистра от скачков напряжения на проводе CAN шины, приемо-передатчик гальванически изолирован от шины оптронной развязкой. Входные каналы регистра также гальванически изолированы оптопарами. Для изоляции выходных регистров используются реле. Каждому каналу соответствуют три вывода реле: центральный, нормально замкнутый и нормально разомкнутый.

В ходе работы над регистром была нарисована схема устройства, разработана и изготовлена печатная плата, написана и отлажена программная часть устройства. На данный момент получен работающий прототип регистра.

Научный руководитель – канд. техн. наук В. Р. Мамкин

ЭФФЕКТЫ ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 1 АВГУСТА 2008 Г. ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СИГНАЛОВ РАДИОСТАНЦИЙ И ОНЧ РАДИОШУМОВОГО ФОНА

А. А. Корсаков

Институт космофизических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера
СО РАН

Наблюдения ОНЧ радишумов проводились с помощью параллельного анализатора-регистратора (диапазон частот 0,47-8,7 кГц). Рамочная антенна ориентирована В-З. ОНЧ шум отражает, в основном, активность Африканского мирового очага гроз. На сходных трассах распространения выбраны 2 СДВ радионавигационные станции (РНС), расположенные около Краснодара, Новосибирска и незатененная трасса – Хабаровск. Амплитуды и фазы РНС регистрируются приемным комплексом, включающим рамочную антенну, усилители, GPS-часы (Trimble Thunderbolt), АЦП USB3000 и ноутбук. Синхронизованный сигнал 10 МГц GPS-часов используется, как задающий для АЦП. Для выделения сигналов РНС (11,905; 12,649 и 14,880 кГц) применяются решетчатые функции преобразования Фурье.

Эффект затмения проявился в сигналах новосибирской и краснодарской РНС в виде увеличения амплитуды и изменения фазы. Для новосибирской РНС амплитуда возросла на 10 усл. ед., а изменение фазы - 30° (40% от суточной вариации). Эффекты аналогичны затмению 9 марта 1997 г. (лунная тень на трассе Япония – Якутск): усиление амплитуды сигналов японской РНС (10,2 кГц), при приеме в Якутске, - 28% суточной вариации, а отклонение фазы (отрицательное) - 35°. Для краснодарской РНС амплитуда увеличилась на 2 усл. ед., а фаза изменилась на 45°. В сигнале хабаровской РНС эффект не проявился, как и ожидалось.

Увеличение интенсивности ОНЧ радишума составило 80 усл. ед. (7%). Продолжительность эффекта затмения по наблюдениям шумового фона на частоте 3,1 кГц в полосе 0,5 кГц соответствует времени затенения трасс Новосибирск – Якутск и Краснодар – Якутск. Вариации амплитуды и фазы сигналов радионавигационных станций хорошо согласуются с изменениями условий распространения, вызванных изменениями освещённости трасс. Наблюдаемые изменения интенсивности ОНЧ шумов также связаны с вариациями параметров трасс распространения ОНЧ сигналов в период полного солнечного затмения 1 августа 2008 года.

Работа поддержана грантами РФФИ 08-02-00348-а, 09-05-98540-р_восток_a и программами Президиума РАН 16 и РНП 2555.

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

СНИЖЕНИЕ РАДИОЗАМЕТНОСТИ ОБЪЕКТОВ

С. И. Кротов

Томский государственный университет

В целях борьбы с радиолокационным обнаружением различных объектов используются специфические радиоматериалы, снижающие их радиолокационную заметность. Эти материалы различаются коэффициентом отражения, рабочей частотой и частотным интервалом. По способу снижения радиозаметности материалы делятся на интерференционные, поглощающие и рассеивающие. В основе теории снижения радиозаметности лежит электродинамическая задача по отражению электромагнитного излучения от слоя с электромагнитными характеристиками, отличными от среды распространения [1].

В радиопоглощающих материалах, имеющих многослойную структуру с плавным или ступенчатым изменением комплексной диэлектрической $\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon''$ проницаемости по толщине верхний слой обычно состоит из материала, имеющего диэлектрическую проницаемость, близкую к единице. Остальные слои представляют собой диэлектрик, используемый в качестве связующего, с немагнитным или магнитным радиопоглощающим наполнителем. Для получения радиопоглощающих материалов, обладающих хорошей гибкостью, высокой технологичностью, большой адгезией к покрываемым поверхностям используются композиционные материалы, в которых в качестве связующего используются: эпоксидная смола, вододисперсионная краска [2], резина.

В данной работе проводится исследование частотных свойств однослойного композиционного материала на основе жидкого стекла и древесной сажи. В результате проведенной работы измерены спектры диэлектрической проницаемости данного материала в диапазоне частот 0,4 ÷ 12 ГГц. Для измерения использовалась экспериментальная установка на основе векторного анализатора цепей Agilent Technologies E8363B и прямоугольного резонатора. Проведено сравнение спектра коэффициента отражения, рассчитанного по полученным зависимостям диэлектрической проницаемости и экспериментально определенного коэффициента отражения в коаксиальном волноводе для материалов с различным содержанием наполнителя.

1. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973.– 343 с.

2. Радиопоглощающий материал и способ его приготовления: пат. RU2107705. №96121504/04; заявл. 04.11.1996; опубл. 27.03.1998

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, О. А. Доценко

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ФМН СИГНАЛА ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ЕГО ЧЕРЕЗ ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ ТРАКТЫ РАДИОЭЛЕКТРОЕННОЙ СИСТЕМЫ

Е. М. Лобов

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского

В современных системах связи, радиолокации и радионавигации широко используются радиосигналы с фазовой манипуляцией (ФМн) [1]. Узловой частью радиоприемных устройств в таких системах является коррелятор. Предшествующие коррелятору избирательные тракты из-за наличия в них переходного процесса вносят искажения в фазовую микроструктуру принимаемого сигнала, которые неизбежно сказываются на результате вычисления корреляционной функции, т.е. на фазу и огибающую ее. Это может породить ошибки в приеме информации или вычислении координат лоцируемого объекта. Поэтому точный учет воздействия переходных процессов на вид корреляционной функции является важной задачей.

Для исследования прохождения радиосигналов через избирательные тракты радиоэлектронных систем существует ряд асимптотических методов, которые не дают точного описания фазовой микроструктуры при переходном процессе [2-3]. Метод быстрого обратного преобразования Лапласа (БОПЛ) дает возможность нахождения решений с точностью до фазы радиосигнала [4].

В настоящей работе на основе метода БОПЛ по точным выражениям исследуется воздействие предварительных избирательных трактов радиоэлектронных систем на вид корреляционной функции ФМн сигнала (манипуляция М-последовательностью с полиномом 10000011). В качестве избирательного тракта принят набор полосовых фильтров второго порядка, включенных последовательно в количестве от 1 до 5 штук, с различными или идентичными параметрами.

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384с.

2. Евтянов С.И. Переходные процессы в прямо-усилительных схемах. – М.: Связьиздат, 1948. – 210 с.

3. Ицхоки Я.С. Приближенный метод анализа переходных процессов в сложных линейных цепях. – М.: Советское радио, 1969. – 172 с.

4. Золотарев И.Д. О некоторых формулах, упрощающих выполнение обратного преобразования Лапласа. // Известия СО АН СССР, серия техн. наук. – Новосибирск: СО АН СССР, 1964. – № 10. – Вып.3. – с. 166–168.

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

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЯ ГРОВОВЫХ РАЗРЯДОВ ДВУХПУНКТОВОЙ СИСТЕМОЙ ГРОЗОЛОКАЦИИ

А. Ю. Маркова

Якутский государственный университет им. М.К. Аммосова

При наблюдениях грозových разрядов на востоке России в настоящее время применяются одно - и двухпунктовые радиотехнические системы грозолокации (Якутск, Нерюнгри, Петропавловск-Камчатский), основанные на определении местоположения молниевых разряда по измеренным углам прихода радиоимпульса грозового разряда (атмосферика) в пункты наблюдения и рассчитанной дальности L от одного из пунктов наблюдения до грозового разряда. Также определяется время прихода радиоимпульса с помощью GPS-часов, выдающих как секундные импульсы, так и стабильные 10 МГц, использующиеся как тактовые для АЦП. Поэтому возможно применение как однопунктового [1], так и триангуляционного и разностно-временного методов [2]. Угол прихода φ рассчитывается с использованием мощностей атмосфериков принятых на ортогональные магнитные рамочные антенны направленные С-Ю и В-З с учетом фона [1].

Проведенный анализ погрешностей трех рассмотренных методов приводит к следующему алгоритму определения координат в зависимости от углов прихода атмосфериков в пункты регистрации. Если отсчитывать углы от «базы», то в пределах от 0 до π , следует придерживаться следующего алгоритма: при значениях обеих углов менее 1 радиана нужно пользоваться разностно-временным методом, далее до значений обеих углов в пределах $1 < \varphi < 2,3$ радиан - триангуляционным, а при больших углах, вплоть до π , работает только однопунктовый метод. При переходе к географическим координатам для определения местоположения источника атмосферика необходимо ввести поправку β на пеленг φ , которая учитывает географические координаты пункта, $\varphi_{\text{геогр}} = \varphi + \beta$, ($\varphi_{\text{геогр}}$ - пеленг атмосферика).

Работа поддержана грантами РФФИ 08-02-00348-а, 09-05-98540-р_восток_а и программами Президиума РАН 16 и РНП 2555.

1. Козлов В.И., Муллаяров В.А. Грозовая активность в Якутии. СО РАН, 103с (2004).

2. Козлов В.И., Муллаяров В.А., Каримов Р.Р. //Известия вузов. Радиофизика, Т. LI, №10. 825-829 (2008).

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

БЛОК СОГЛАСОВАНИЯ И БЫСТРОЙ ЗАЩИТЫ МОДУЛЯТОРА КЛИСТРОНА 5045

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

В настоящее время в Институте ядерной физики СО РАН создается ускорительно-накопительный комплекс ВЭПП-5. Источником электронов и позитронов для комплекса служит форинжектор. Ускоряющие модули линейного ускорителя форинжектора состоят из клистрона 5045 производства SLAC, модулятора клистрона и других систем. Для клистрона и модулятора были разработаны системы контроля, диагностики и защиты, в том числе блок согласования и блок быстрой защиты. Блок согласования осуществляет преобразование уровней входных сигналов до приемлемых величин для осциллографа, АЦП и блока быстрой защиты. В блоке быстрой защиты осуществляется сравнение уровней сигналов с пороговыми значениями, при превышении которых блок запрещает дальнейшую работу модулятора клистрона. Поскольку эти блоки устарели, было решено их модернизировать.

Существующий блок быстрой защиты выполняет свои функции, но он имеет ряд недостатков: связь с управляющим ПК в пультовой требует дополнительных модулей КАМАК, аналоговая часть блока реализована на компараторах, уровни срабатывания защит задаются с помощью резистивных делителей, логика срабатываний реализована на логических элементах, поэтому нет возможности ее изменить. Кроме того, для оцифровки сигналов необходимо использование внешнего блока АЦП. В институте разрабатывался промежуточный вариант блока быстрой защиты на основе микроконтроллера со встроенным АЦП, позволяющим оцифровывать постоянные/медленно меняющиеся сигналы, но он так и не был закончен.

Было решено разработать новый блок, объединяющий в себе функции блока согласования и блока быстрой защиты, на современной элементной базе, добавить возможность оцифровки «быстрых» сигналов (длительностью ~ 4 мкс.) и передачи результатов оцифровки на ПК в пультовой по CAN-интерфейсу.

Научные руководители – А. Г. Чупыра, канд. техн. наук Г. В. Карпов

ФОТОПРИЕМНЫЙ МОДУЛЬ НА КРЕМНИЕВОМ ЛАВИННОМ ДИОДЕ

А. А. Осипов

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

В настоящее время в институте ядерной физики СО РАН требуется измерение вертикальной, радиальной и бетатронных частот пучков электронов на ускорителе ВЭПП-4М.

Изображение пучка в поворотном магните в оптическом диапазоне строится на лавинном фотодиоде, прикрытом щелью. Сигнал с фотодиода, записанный на протяжении 10^6 оборотов пучка, считывается в компьютер и обрабатывается с помощью быстрого преобразования Фурье.

В данной работе разработан высокочувствительный, высокоскоростной фотоприемный модуль. В качестве фоторегистрирующего устройства используется лавинный кремниевый диод S8664-50K фирмы Hamamatsu. Его спектральная чувствительность находится в пределах от 320 до 1000 нм. Пиковая чувствительность приходится на длину волны 600 нм. Чувствительность диода зависит от рабочей температуры и напряжения питания, поэтому, для питания диода реализован источник напряжения, обеспечивающий на выходе напряжение, в диапазоне от 300 до 400 В. В источнике напряжения предусмотрена компенсация температурного дрейфа лавинного фотодиода для обеспечения стабильной чувствительности фотоэлемента. Разработана высокоскоростная, малощумящая цепь усиления сигнала, позволяющая выбирать коэффициент усиления и режим работы модуля.

В модуль заложено два режима работы: интегратор входного сигнала и режим выборки и хранения сигнала. Режим интегрирования запускается по активному фронту управляющего сигнала. Выходной сигнал фотодиода усиливается и интегрируется в течении 10-30 нс(длительность выходного сигнала настраивается индивидуально для каждого модуля) и удерживается на выходе модуля в течении 1мкс(время удержания также настраивается) для его дальнейшего преобразования в двоичный код, передачи в ПК и обработки.

Научные руководители – В. К. Овчар, д-р физ.-мат. наук Э. А. Купер

РАЗРАБОТКА АППАРАТУРЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ЛИНЕЙНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ

А. В. Павленко

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

В институте ядерной физики им. Г. И. Будкера создается линейный индукционный ускоритель (ЛИУ), предназначенный для рентгенографических исследований. В настоящее время разрабатывается инжектор ЛИУ, который должен обеспечить энергию пучка 2 МэВ, ток 2 кА при длительности импульса 300 нс. Примерная длина инжектора составит пять метров.

Ускорение частиц в ЛИУ осуществляется вихревым электрическим полем, создаваемым согласно принципу электромагнитной индукции импульсом тока в кольцевых индукторах. Индукторы запитываются от импульсных высоковольтных генераторов, называемых модуляторами. Инжектор состоит из 48 индукторов, управляемых от 48 модуляторов. Основными элементами каждого модулятора являются формирующая линия и коммутирующий тиратрон. Важной составной частью системы управления инжектором является подсистема синхронизации, которая обеспечивает запуск тиратронов в строго определенные моменты времени. Модуляторы разделены на восемь секций - по шесть в каждой. Система синхронизации разделена таким же образом - на восемь таймеров, генерирующих индивидуальные управляющие сигналы для модуляторов и установленных в управляющие Comcraft PCI крейты соответствующих секций. Таймер центрального крейта системы управления формирует общие для всех периферийных таймеров сигналы управления.

Система синхронизации базируется на двух устройствах, располагаемых в крейтах. Первое устройство - это собственно таймер, представляющий собой 16 – канальную цифровую линию задержки DL200, с дискретностью перестройки 5 нс. Диапазон программной перестройки задержки - 163.840 мкс. Все цифровые узлы таймера, включая PCI–интерфейс, реализованы на микросхеме семейства *CYCLON II*, фирмы Altera. Второе устройство – это плата 16 – канального адаптера, усиливающая выходные импульсы маломощного таймера до тока 100 мА.

В докладе описывается строение системы синхронизации инжектора, рассматриваются назначения ряда сигналов, генерируемых системой, а также некоторые особенности проекта таймера, написанного в среде разработки Quartus II для микросхем программируемой логики, обеспечивающие требуемое временное разрешение.

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

ТРАНСФОРМАТОР ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ КОЛЛЕКТОРА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

К. А. Пирогов

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

В Институте ядерной физики разрабатывается комплекс терапии раковых заболеваний ионами углерода NITS. Одной из важнейших частей комплекса является система электронного охлаждения ионного пучка, позволяющая получить интенсивный пучок ионов с малыми поперечными размерами, который впоследствии будет использован для прицельного уничтожения раковых клеток. Суть метода электронного охлаждения состоит в том, что на определенном участке траектории происходит сведение пучка ионов и электронов, движущихся в том же направлении и с той же скоростью. В результате взаимодействия ионы передают часть своей энергии электронам, уменьшая тем самым поперечный разброс импульса в пучке. Затем электронный пучок отводится на коллектор, возвращая свою кинетическую энергию обратно в источник. Это так называемый режим рекуперации пучка электронов.

Для эффективного поглощения электронов коллектором его потенциал должен быть выше потенциала катода на 2,5 кВ при энергии электронов до 250 кэВ и токе пучка до 6 А. Потенциал катода -300 кВ относительно земли, таким образом возникает задача передачи мощности на коллектор с обеспечением соответствующей изоляции. Решением этой задачи является развязывающий трансформатор, напряжение со вторичной обмотки которого затем выпрямляется и подается на коллектор.

В силу конструктивных особенностей электронного охладителя оптимальной конструкцией трансформатора представляется коаксиальная с незамкнутым магнитопроводом и изоляционным промежутком между первичной и вторичной обмотками, заполненным элегазом (газ SF₆). Расчетный коэффициент связи составил 0,7. Рабочая частота трансформатора 25 кГц.

Научный руководитель – И. А. Гусев

ДИНАМИЧЕСКАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ В ВАРАКТОРНОМ УДВОИТЕЛЕ ЧАСТОТЫ

А. В. Поликарпов, А. Г. Филинков
Томский государственный университет

В настоящее время в связи с интенсивным развитием систем связи миллиметрового диапазона длин волн, в том числе систем РЭБ и РЛС ближнего действия существует необходимость разработки передающих устройств повышенной мощности. Одним из основных элементов таких передающих устройств является варакторный умножитель частоты. Как известно из основных фундаментальных работ, посвящённых теоретическому анализу варакторных умножителей частоты [1, 2], оптимальным режимом с точки зрения энергетических характеристик умножителя, является режим полной модуляции р-п перехода в отсутствии прямого тока. Этот режим подразумевает, что переменное напряжение, приложенное к переходу варактора, изменяется от обратного напряжения пробоя варактора до порога открытия. Именно в таком режиме коэффициенты модуляции эластанса варактора в рабочей точке принимают максимальные значения, а, следовательно, максимальные значения принимают эффективность и выходная мощность умножителя. Однако, энергетический подход не позволяет судить о динамических режимах, реализующихся в системе. Поэтому интерес представляет исследование устойчивости в колебательной системе с нелинейной ёмкостью, находящейся под гармоническим внешним воздействием [3].

В качестве идентификатора устойчивости фазовых траекторий был применён метод старшего Ляпуновского характеристического показателя. Увеличение амплитуды накачки внешнего генератора приводит к переходу системы в неустойчивый режим в области частоты малосигнального резонанса системы. Таким образом, повышение мощности накачки в варакторных удвоителях частоты может приводить к хаотизации колебаний раньше, чем будет достигнут оптимальный с точки зрения энергетических характеристик режим работы варактора – режим полной модуляции р-п перехода.

1. Utsunomiya T., Guan S. // Proceedings of IRE. – 1962. – vol. 50. – № 1. – P. 57–65.

2. Penfield P. Jr., Rafuse R.P. // Varactor Applications. – Cambridge; MA: MIT Press., 1962.

3. Владимиров С. Н., Перфильев В. И. // ЖТФ. – 2004. – Т. 74. – Вып. 7. – С. 6–12.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С.Н. Владимиров

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА ТАКТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ С CAN ИНТЕРФЕЙСОМ

М. А. Путилов

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

Проблема модернизации цифровых устройств, в связи с выходом их из строя и старением с точки зрения элементной базы, всегда является актуальной. В настоящее время существует потребность в новом генераторе тактовых импульсов, который служит устройством синхронизации в ускорительных комплексах.

В Институте Ядерной Физики устаревшим аналогом разрабатываемого устройства является ГТИ-1. Новый генератор обладает дополнительной функциональностью по сравнению с предшествующей версией и сконструирован на современной элементной базе, что повышает его надёжность. Он базируется на ПЛИС семейства ACEX фирмы ALTERA и ЦСП семейства TMS320 фирмы Texas Instruments с использованием CAN-интерфейса. При проектировании заложен современный стандарт U3 (Евромеханика) в замен устаревшего КАМАК.

Научный руководитель – вед. инженер В. А. Чекавинский

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО КРЕМНИЯ В РЕАКЦИИ $\text{SiCl}_4 + 10\text{H}_2 \rightarrow \text{Si} + \text{HCl} + \dots$ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ПЛАЗМОТРОНА

Н. О. Стрельников
Институт теплофизики СО РАН
Новосибирский государственный университет

Содержание примесей в тетрахлориде кремния находится на уровне чистоты исходного трихлорсилана. Как побочный продукт тетрахлорид кремния требует определенного хранения и утилизации. С точки зрения ресурсосбережения и экологической безопасности, представляется целесообразным вернуть высокочистый продукт в основную технологическую цепочку, и тем самым организовать безотходный цикл производства кремния. В связи с этим перспективной задачей является разработка методов перевода тетрахлорида кремния в кремний или трихлорсилан.

Существующие химические методы гидрирования SiCl_4 имеют ряд недостатков, что не позволяет в полной мере использовать их в процессе перевода тетрахлорида кремния в трихлорсилан и кремний.

Исследовался метод получения кремния солнечного качества посредством гидрирования тетрахлорсилана (SiCl_4) в плазме аргона, создаваемой трансформаторным плазмотроном [1]. Применение трансформаторного плазмотрона, работающего при атмосферном давлении на газе аргоне [2], позволяет избежать попадания вредных примесей при проведении реакции.

В представленной работе изучались характеристики плазмотрона, влияние на них подачи реагентов, подбирался оптимальный режим работы плазмотрона и подачи реагентов для эффективного проведения реакции. Также изучался состав отходящих после реакции веществ. По ним считалась доля прореагировавшего SiCl_4 .

Процент осевшего кремния сильно зависит от времени проведения реакции, расходов подаваемых газов и способа его осаждения. Содержание большинства примесей в полученном кремнии либо очень близко к требуемым ограничениям по примесям для “солнечного” кремния, либо меньше этих ограничений.

1. Sarma K.R., Rice jr. M.J. Способ гидрирования тетрахлорида кремния. // 1982. Патент 4309259 США, МКИ С01В 33/107.

2. Коган В.А., Уланов И.М.. Исследование возможности создания плазмотронов трансформаторного типа. // ТВТ. 1993. Т 31, №1. С. 105.

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ ЗАДЕРЖЕК МОЛНИИ – СПРАЙТ

А. А. Торопов, Л. Д. Тарабукина
Институт космофизических исследований и аэронауки
им. Ю. Г. Шафера СО РАН
Якутский государственный университет им. М.К. Аммосова

Одними из самых распространенных естественных источников низкочастотных радиошумов являются грозовые разряды как наземные, так и облако-ионосфера (спрайты и др.). Спрайты возникают после положительного разряда молний [1]. Их свойства можно исследовать, используя порожденные ими радиоимпульсы, распространяющиеся в атмосфере.

В работе рассмотрены пространственное распределение положительных грозовых разрядов на территории Якутии [2] и записи радиошума со штыревой электрической антенны, подключенной через усилитель к звуковому входу переносного компьютера, в Верхоянье ($\varphi = 67.95^\circ$, $\lambda = 134.95^\circ$) на высоте ≈ 450 м над уровнем моря. Особенностью этого региона является повышенное количество положительных разрядов «облако-земля» и сопровождающих их спрайтов. Исследовались характеристики и временной интервал между атмосфериком положительного разряда «облако-земля» и следующим за ним спрайтом. По данным обработки 100 разрядов установлено, что запаздывание КНЧ-излучения спрайтов относительно начала соответствующих атмосфериков лежало в пределах 5 мс с максимальными значениями в 1 и 2 мс (40% и 34% соответственно). Вероятность отсутствия задержки составляет 8%, а наибольших из наблюдаемых значений 5 мс – 2%. Большой разброс значений запаздывания КНЧ сигнала и отсутствие зависимости этих значений от амплитуды атмосферика не согласуется с литературными предположениями о причине запаздывания - разному времени распространения ОНЧ и КНЧ-излучения. В [1] (Северная Америка, $\varphi \sim 35^\circ$) задержка составляла: мода 10-20 мс, среднее 30 мс.

Работа поддержана грантами РФФИ 08-02-00348-а, 09-05-98540-р_восток_a и программами Президиума РАН 16 и РНП 2555.

1. T. Fernanda, S. Sabbas etc, Statistical analysis of space–time relationships between sprites and lightning, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 65, 525 – 535 (2003).

2. В. А. Муллаяров, А. А. Торопов, В. И. Козлов, Р. Р. Каримов, Особенности пространственного распределения положительных грозовых разрядов на Востоке Сибири, Метеорология и гидрология, в печати (2009).

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

ИСТОЧНИК ТОКА ДЛЯ КОРРЕКЦИИ РАВНОВЕСНОЙ ОРБИТЫ ИОНОВ УГЛЕРОДА В СИНХРОТРОНЕ

К. Р. Яминов

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

В настоящее время в Институте ядерной физики СО РАН разрабатывается комплекс ускорителя ионов углерода для терапии рака. Магнитное поле, удерживающее пучок заряженных частиц на равновесной орбите, является периодической функцией от времени: для бустерного синхротрона период составляет 0,1 секунды; для основного синхротрона – несколько секунд. Предполагается использовать на комплексе около пятидесяти корректоров равновесной орбиты, требующих питания током порядка 5А, диапазон выходных напряжений $\pm 100\text{В}$. Погрешность регулирования не хуже 0,1% от максимального значения.

Данная работа посвящена разработке источника питания корректирующих магнитов. Силовая часть источника представляет собой мостовой инвертор, выполненный на полевых транзисторах. Инвертор управляется цифровым сигнальным процессором, для которого в программном виде реализован алгоритм регулирования тока. Задание передается по интерфейсу связи CAN в виде таблицы, описывающей временную зависимость тока. Процессор аппроксимирует дискретное задание непрерывной функцией тока методом линейной интерполяции. Для обеспечения синхронности работы источников старт осуществляется широковещательной посылкой по CAN интерфейсу.

Научные руководители – О. В. Беликов, канд. техн. наук
А. С. Медведко

ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР, ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И МАГНЕТИЗМА

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ КОПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДА ТРУБЧАТОЙ СТРУКТУРЫ

Е. В. Антощенко, С. Д. Бороданов
Новосибирский государственный университет
Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН

Современная наука нанотехнологий базируется на основе изучения наноструктур (нанотрубки, нанолуковицы и др.). Наноматериалы обладают большой поглощающей способностью электромагнитного излучения. В производстве это можно использовать для получения электромагнитных экранов. Задача работы состоит в том, чтобы измерить диэлектрическую проницаемость композитов на основе углерода трубчатой структуры (УТС) в пленке полиметилметакрилата, так как мнимая часть диэлектрической проницаемости отвечает за мощность потерь (поглощающую способность).

Установка смонтирована из емкостной ячейки (две экранированные параллельные пластины, между которыми можно размещать исследуемый образец), моста малых емкостей, вольтметра SR-830, генератора переменного тока. Использовался компенсационный метод измерения емкостей конденсатора. Отношение емкостей заполненного образцом конденсатора к пустому конденсатору – это и есть искомая величина диэлектрической проницаемости.

В докладе будут представлены данные по результатам исследований диэлектрической проницаемости в области частот от 1 Гц до 100 кГц. В будущем предполагается измерить зависимость поглощающей способности нанокompозитов от температуры.

Таким образом, в результате изучения диэлектрической проницаемости, станет известен такой важный параметр УТС, как поглощающая способность, который, безусловно, понадобится будущему производителю наноматериалов.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. А. И. Романенко, канд. физ.-мат. наук, К. Р. Жданов

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ АМОРФНЫХ ЛЬДОВ

К. В. Гец

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

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. Дальнейшее изучение аморфных веществ на примере льда может способствовать изучению кристаллоподобных свойств колебаний молекул воды, которые были экспериментально [1] обнаружены в аморфных льдах. Также изучение различных фаз воды имеет большое значение для нахождения второй критической точки [2].

Выяснение причин возникновения коллективных колебаний в аморфных льдах является важным вопросом в изучении аморфных тел. Аморфный лед имеет ближний порядок, но не имеет дальнего порядка. Следствием этого должно было стать локальное распространение определенных колебаний молекул воды. Речь идет о когерентных колебаниях с одинаковыми частотами. Эксперименты и численные вычисления показали, что молекулы воды, находящиеся в различных областях суперячеек аморфных льдов, участвуют в одних и тех же колебаниях. Характер взаимодействия между молекулами хорошо известен — это силы Ван-дер-Ваальса. Целью данной работы является изучение коллективных колебаний молекул воды в аморфных льдах, а также изучение структуры льдов посредством численного моделирования.

В работе рассматривается поведение молекул воды в суперячейках аморфного льда с низкой, высокой и сверхвысокой плотностями при изменении температуры и объема. Проведены расчеты колебательного спектра и структурного фактора суперячеек аморфных льдов. К настоящему моменту правильность, в сравнении с экспериментальными данными, построенной модели доказана, ведется поиск причины возникновения коллективных колебаний, ведется исследование направлений векторов колебаний молекул воды.

1. F. Sette, M. H. Krisch *et al.*//*Science*, 1998. V 280. P1550.

2. O. Mishima, E. Stanley// *Nature*, 1998. V 396. P.29.

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

МАГНИТНЫЕ И МАГНИТОТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК Ni-Mg-O

А. А. Гребенников^а, О. В. Стогней^а, А. В. Ситников^а, В. А. Терехов^б,
Н. А. Румянцева^б

^а Воронежский государственный технический университет
^б Воронежский государственный университет

В работе проведено исследование структуры, электрических и магнитных свойств образцов Ni-Mg-O, полученных методом ионно-лучевого распыления составных мишеней. Процессы намагничивания исследовались с помощью вибрационного магнитометра, электрические и магниторезистивные свойства исследовались потенциометрическим методом по двухзондовой схеме.

Концентрационная зависимость электросопротивления сплавов Ni-Mg-O имеет характерную для нанокompозитов s-образную форму с участком резкого уменьшения сопротивления (на три порядка) при незначительном увеличении концентрации никеля, обычно интерпретируемым как порог перколяции. Температурные зависимости сопротивления сплавов Ni-Mg-O также аналогичны зависимостям, получаемым для нанокompозитов: при малой концентрации никеля сопротивление монотонно растет с температурой, достигает максимума (при 600 - 650°C) и затем уменьшается. При большой концентрации никеля на зависимостях наблюдается резкое уменьшение сопротивления (ступень) и последующий рост сопротивления. Однако анализ физических свойств сплавов не позволяет предполагать наличие у них наногранулированной структуры: во-первых, во всех образцах отсутствует магнитосопротивление, во-вторых, даже в сплавах с большим содержанием никеля практически отсутствует намагниченность в полях 5 кЭ. Данные рентгеноструктурного анализа показали, что структура образцов в исходном состоянии гомогенная: на рентгенограмме присутствуют только пики от кристаллического MgO, а присутствие никеля никак не обнаруживается.

С помощью рентгеноструктурного анализа установлено, что в результате термического отжига (600 °C) сплавов с большим содержанием никеля их структура становится гетерогенной – на рентгенограмме появляются пики, соответствующие кристаллическому Ni. При этом радикально изменяются магнитные свойства сплавов: намагниченность после отжига возрастает на два порядка и возникает магнитный гистерезис с коэрцитивностью 75 – 80 Э. Поскольку магнитосопротивление в отожженных образцах не наблюдается можно сделать вывод о том, что выделяющийся при отжиге никель формирует большие, макроскопические кластеры.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант N 09-02-97536-р-центр-а

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук. О. В. Стогней

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРОГРАММУПРАВЛЯЕМЫЙ СТЕНД-ИНДУКТОР ВРАЩАЮЩИХСЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

А. Г. Миловзоров

Ижевский Государственный технический университет

Разработан универсальный исследовательский стенд, позволяющий выполнять монтаж систем контурных катушек, регулирования их пространственной взаимной ориентации, проводить экспериментальные исследования статистических и динамических характеристик трехкомпонентного феррозондового магнитометра в индуцируемых вращающихся магнитных полях.

Стенд позволяет компоновку индуктора магнитных полей, в виде традиционных двух колец Гельмгольца, в виде двух пар квадратурных контурных катушек и в виде трехкомпонентного индуктора. Первый вариант компоновки стенда является универсальным и обеспечивает проведение комплекса исследований в различных режимах взаимных ориентаций контурных катушек, а именно:

1. при вариации и расстоянии между катушками;
2. при расположении катушек под углом друг к другу;
3. при плоско параллельном смещении катушек относительно друг друга;
4. при различных комбинациях указанных выше компоновок.

Второй и третий варианты компоновок позволяют индуцировать вращающиеся магнитные поля, при этом обеспечивается дополнительными блоками аналоговое схемотехническое, либо программное управление параметрами индуцируемых вращающихся магнитных полей, с возможностью задания различных частот и амплитуд напряженностей магнитных полей, создаваемой каждой из контурных катушек. Применение микроконтроллеров с управляемыми ЦАП, обеспечивают различные режимы работы, а именно – позволяют реализовывать аналоговые режимы работы, при которых осуществляется плавное аналоговое изменение токов в контурных катушках, по программно задаваемым законам, и дискретные режимы работы, при которых обеспечивается возможность реализовывать дискретные скачкообразные режимы токов в контурных катушках и обеспечивать дискретные квантованные вращающиеся магнитные поля в системах контурных катушек.

Практическое применение универсального стенда позволяет существенно расширить область экспериментальных исследований, как при создании магнитометрической аппаратуры, так и при проведении комплексных биологических исследований во вращающихся магнитных полях.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Г.В. Ломаев

РАЗРЫВ И КРИТИЧЕСКИЙ ТЕПЛОВЫЙ ПОТОК В ЛОКАЛЬНО НАГРЕВАЕМОЙ ПЛЕНКЕ ЖИДКОСТИ, ДВИЖУЩЕЙСЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОТОКА ГАЗА В КАНАЛЕ

Д. А. Родионов

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

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования разрыва и критического теплового потока, при котором наступает неограниченный рост температуры нагревателя, в локально нагреваемой пленке жидкости (дистиллированная вода), движущейся под действием потока газа (воздух) в канале.

Осушение нагревателя происходит в несколько этапов: 1 – при достижении некоторого порогового теплового потока образуются сухие пятна ниже нагревателя, 2 – при несколько большем тепловом потоке образуются первые сухие пятна на нагревателе, 3 – при дальнейшем увеличении теплового потока почти весь нагреватель покрывается метастабильной тонкой пленкой жидкости, в которой с большой скоростью возникают и исчезают сухие пятна размером порядка 1 мм, 4 - дальнейшее увеличение теплового потока приводит к полному осушению нагревателя.

На Рис. 1 представлена зависимость критического теплового потока от числа Рейнольдса газа для различных чисел Рейнольдса жидкости. Видно, что критический тепловой поток растет с увеличением как числа Рейнольдса газа, так и жидкости. Из Рис. 2 следует, что критический тепловой поток в пределах ошибки не зависит от гравитации. В эксперименте был достигнут тепловой поток более 250 Вт/см^2 .

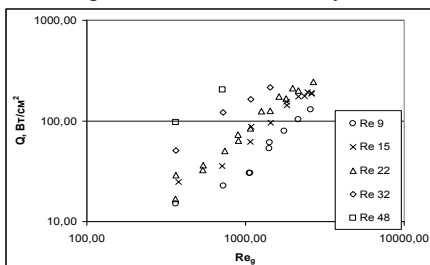


Рис.1. Зависимость критического теплового потока от числа Рейнольдса газа для различных чисел Рейнольдса жидкости.

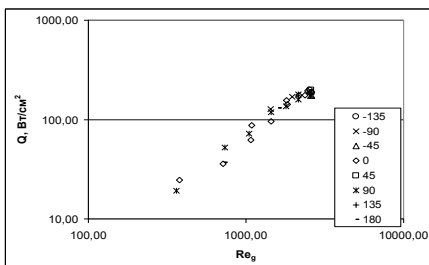


Рис.2. Зависимость критического теплового потока при Рейнольдса жидкости 15 от Рейнольдса газа для различных углов наклона рабочего участка.

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

КОНДЕНСАЦИЯ ПАРА НА КРИВОЛИНЕЙНЫХ РЕБРАХ

Д. П. Родионова

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

Использование оребренных поверхностей в конденсаторах существенно увеличивает интенсивность процесса конденсации.

В данной работе рассматривается установившийся процесс пленочной конденсации неподвижного пара на криволинейном ребре оптимальной формы (которая была найдена в [1]) и круглой формы с целью исследования влияния действия сил поверхностного натяжения и гравитации на динамику пленки конденсата.

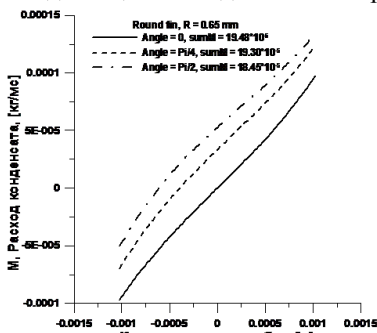


Рис. 1 Расход конденсата с круглого ребра при разных углах наклона гравитации

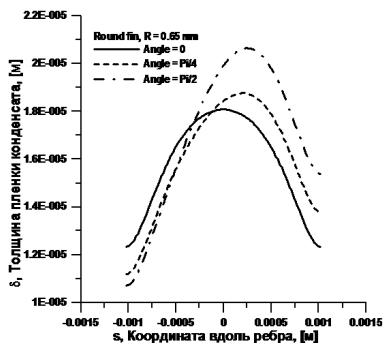


Рис. 2 Толщина пленки конденсата на круглом ребре при разных углах наклона гравитации

Численно исследовалось влияние положения ребра относительно направления вектора силы тяжести на конденсацию чистого водяного пара при атмосферном давлении и разностью температур насыщения и стенки ребра $\Delta T=5$ К.

Результаты расчетов для круглого ребра показали, что суммарный расход конденсата с ребра (рис. 1) практически не изменяется при изменении положения ребра относительно направления вектора гравитации, но при этом сдвигается точка «нуля» расхода, относительно которой конденсат течет в разные стороны. Для ребра оптимальной формы (где кривизна ребра на вершине значительно превышает кривизну ребра по краям) такого сдвига нет. Вершина ребра с большой кривизной

служит своеобразным «барьером» для течения. Также замечен сдвиг зависимости толщины пленки конденсата при наклонной гравитации относительно оси круглого ребра, чего не наблюдается в оптимальном ребре (рис. 2).

1. И.В. Марчук, А.В. Глушук, О.А. Кабов Конденсация пара на неизотермических криволинейных ребрах.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ КРИСТАЛЛОВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $K_xRb_{1-x}Pb_2Br_5$

А. Ю. Тарасова

Институт геологии и минералогии СО РАН

Методом Бриджмена выращены новые монокристаллы ряда $K_xRb_{1-x}Pb_2Br_5$, где $0 \leq x < 1$, чистые и легированные Er^{3+} . Предложен механизм структурного преобразования при замещении атомов калия на атомы рубидия (изменение симметрии из моноклинной в тетрагональную $P21/c \longleftrightarrow I4/mc$, при $x=0.35$). Объяснена природа внедрения редкоземельных элементов в кристаллическую решетку новых соединений. При помощи поляризационно-оптических наблюдений обнаружена зависимость температуры фазового перехода в моноклинной фракции смешанных кристаллов от их состава. Показано, что с увеличением содержания калия в твердых растворах значительно увеличивается коэффициент внедрения Er^{3+} [1].

1.Л.И. Исаенко, С.В. Мельникова, А.А. Меркулов, В.М. Пашков, А.Ю.Тарасова, Исследование влияния постепенного замещения $K \leftrightarrow Rb$ на структуру и фазовый переход в твердых растворах $K_xRb_{1-x}Pb_2Br_5$, ФТТ, 2009, Том 51, вып. 3, С. 554-557.

Научный руководитель: д.т.н. Л. И. Исаенко

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АНСАМБЛЯ НАНОЧАСТИЦ ЭКВИАТОМНОГО СПЛАВА CoPt

А. К. Фадин

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

В настоящее время серьезной научной проблемой в области информационных технологий является увеличение плотности объема записи информации на носители. Важным техническим ограничением остается так называемый суперпарамагнитный предел. Как было показано в ряде работ, одним из наиболее перспективных для решения этой проблемы материалов является эквиатомный сплав CoPt.

В докладе представлены результаты экспериментального исследования магнитных характеристик ансамбля наночастиц эквиатомного сплава CoPt. Образцы представляли собой цилиндрические образования, состоящие из квазисферических частиц сплава. Средний размер частиц составлял 50 нм. Магнитные свойства сплава резко отличаются от ранее изученных массивных образцов CoPt, поскольку при наноразмерах исключены процессы смещения доменных стенок при намагничивании.

Измерения проводились при помощи метода Фарадея на магнитных весах, при комнатной температуре. Анализ измерений, проведенных в разомкнутой магнитной цепи, потребовал учета размагничивающего фактора. Было показано, однако, что данный фактор не вносит существенной погрешности в измерения.

Полученные результаты могут быть описаны в рамках аналитической модели Усова (модель жесткого вихря) [1,2]. Согласно данной модели магнитная структура сплава определяется конкуренцией двух взаимодействий обменного и магнитостатического. При определенных условиях происходит закручивание магнитных моментов и формируется вихревая структура. Наши данные также хорошо коррелируют с результатами исследования наночастиц кобальта [3].

1. N. A. Usov and S. E. Peschany. *J. Magn. Magn. Mater.*, 1993. V. 118, P. L290-L294.

2. M. Schneider, H. Hoffmann, and J. Zweck., V. 79, *J. Magn. Magn. Mater.*, 2003. V. 257, P. 1-10

3. A. Cebollada et al. *Phys. rev. B.*, 2009, V.79, # 014414, 13 p.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук. Л. А. Боярский

ДИНАМИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СЕГНЕТОМАГНИТНЫХ СИСТЕМАХ

И.Ф. Шарафуллин

Башкирский государственный университет

Одной из актуальнейших задач современной физики конденсированного состояния является исследование влияния внешнего электрического и магнитного поля на магнитоэлектрическое, магнитоупругое и электроупругое взаимодействие в кристаллах. Исследование сегнетон-фононных, магнотон-фононных, магнотон-сегнетонных и других взаимодействий и их влияния на динамические явления в кристалле привело к открытию ряда новых эффектов [1-3]. Несомненный научный интерес представляет класс веществ – сегнетомагнетики. Это соединения, в которых одновременно существуют магнитное и сегнетоэлектрическое упорядочение.

В данной работе рассматривается антисегнетоантиферромагнетик (АСАФМ) орторомбической симметрии со структурой перовскита. Чтобы иметь возможность изучать динамические свойства сегнетомагнетиков, воспользуемся методом приближенного вторичного квантования (ПВК). Выражая магнитный момент, поляризацию и упругое смещение через операторы рождения и уничтожения квазичастиц получим гамильтониан в представлении ПВК. Получено дисперсионное уравнение, определяющее собственные частоты АСАФМ, а также явная зависимость коэффициентов связи спиновой спиновой, сегнетоэлектрической и упругой подсистем от феноменологических постоянных, а также от внешнего электрического и магнитного поля.

Исследования связанных магнитоэлектрических, магнитоупругих и сегнетоупругих волн показывают, что взаимодействия отдельных ветвей спиновых, фононных и сегнетоэлектрических волн в антисегнетоантиферромагнетиках могут усиливаться обменно. Определено затухание спиновых волн для случая антисегнетоантиферромагнитной структуры.

-
1. А.К. Звездин, А.П. Пятаков Фазовые переходы и гигантский магнитоэлектрический эффект в мультиферроиках. //УФН, т.174, №4 (2004).
 2. Е.А. Туров, В.В. Николаев Новые физические явления в магнетиках ... //УФН, т.175, №5 (2005)
 3. И.Р. Кызыргулов, М.Х. Харрасов Связанные сегнетомагнитоупругие волны в антисегнетоантиферромагнетиках // ДАН, т.385, №1 (2002)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, М. Х. Харрасов

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ (150КВ) ДЕЛИТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

И. Е. Карпов

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

В ИЯФ СО РАН идут исследования на установке ГОЛ-3 – многопробочной магнитной ловушки, в которой дейтериевая плазма нагревается мощным электронным пучком длительностью ~ 10 мкс. В экспериментах достигнуты высокие параметры плазмы. При плотности электронов $n \sim 10^{20-21} \text{ м}^{-3}$ плазма нагревается до температуры $T \sim 1-4$ кэВ, причем энергия плазмы удерживается в ловушке в течение времени $\tau \leq 1$ мс. Это значит, что тройное произведение составляет $nT\tau \sim 10^{11}-10^{12} \text{ кэВ} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-3}$, что в 10^2-10^3 раз меньше величины, необходимой для зажигания реакции термоядерного синтеза.

Для дальнейшего повышения параметров плазмы в лабораториях института было предложено использовать еще один дополнительный электронный пучок с меньшей мощностью, но более длительный, чем основной пучок. Такой пучок должен поддерживать высокую температуру плазмы в течение большего времени за счет ее подогрева и подавления основного канала потерь энергии из плазмы, находящейся в магнитном поле – продольной электронной теплопроводности. Этот эффект подавления был экспериментально обнаружен и изучен на установке ГОЛ-3. Сейчас проектируется источник такого пучка.

Для измерения параметров дополнительного пучка, необходимо было изготовить омический делитель, который позволит измерять постоянное напряжение до 150 кВ. При расчете параметров делителя были учтены все ограничения, которые возникают при измерении высоких напряжений: ограничение по тепловыделению, токам утечки из-за возможного зажигания коронного разряда в воздухе, согласованию с измерительными приборами, наводкам на приборы, работающие от сети.

Была выбрана конструкция делителя с масляной изоляцией, проведены расчеты электрических полей, проектирование, изготовлены элементы, измерены с необходимой точностью сопротивления резисторов, проведена сборка. Рассчитана его погрешность. Калибровка делителя проходила на высоковольтном стенде перед началом измерений. Делитель готов к измерениям и используется в экспериментах.

Научный руководитель – канд. техн. наук, В. Т. Астрелин

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ, ПОГЛОЩАЕМОЙ В ВЧ ПЛАЗМЕННОМ ЭМИТТЕРЕ

Д. В. Кислер

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

В ИЯФ СО РАН разрабатывается ионный источник, основанный на высокочастотном (ВЧ) разряде, для инжекции протонного пучка в ускоритель. Он должен работать в непрерывном режиме с модуляцией пучка при частоте повторения рабочих импульсов 50 Гц и длительности импульса ~ 1 мс. Ионный ток пучка должен быть до 70 мА и энергия пучка 50 кэВ.

В таком режиме работы ВЧ – разряд горит непрерывно, уменьшая мощность в паузах между импульсами пучка. При этом происходит значительное тепловыделение в фарадеевском экране плазменной камеры ионного источника. Перегрев экрана в среднем больше 120°C может привести к плавлению индиевого уплотнения камеры. Поэтому мощность, поглощаемая в плазменном эмиттере при ВЧ – разряде, является одним из основных параметров ионного источника.

Целью работы является измерение мощности, поглощаемой в высокочастотном плазменном эмиттере.

Поглощение мощности в плазменном разряде происходит за счет попадания на поверхность фарадеевского экрана плазмы, а также за счет скин-токов, которые наводятся ВЧ полем антенны.

Оценка мощности, поглощаемой плазмой, была произведена подбором активного сопротивления эквивалентного плазменной нагрузке при подключении резисторов разной величины параллельно антенне ионного источника. Мощность, поглощаемая плазмой в режиме модуляции, составляет: 510 Вт – на нижнем уровне, 1,2 кВт – на верхнем уровне.

Для измерения мощности, поглощаемой металлическими элементами плазменной камеры за счет наводимых ВЧ полем антенны скин-токов, было произведено измерение шунтового сопротивления антенного контура. Оно составило 11,4 кОм, что соответствует мощности, поглощаемой металлическими элементами плазменной камеры в режиме модуляции, 235/100 Вт – на верхнем/нижнем уровне.

В результате работы был получен пучок общей длительностью 1 с с частотой повторения рабочих импульсов 50 Гц при длительности импульса ~ 1 мс, ток пучка составил 60 мА, энергия пучка – 50 кэВ.

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

ИЗУЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ В РАСШИРИТЕЛЕ УСТАНОВКИ ГОЛ-3 С ПОМОЩЬЮ ТРОЙНОГО ЗОНДА ЛЕНГМЮРА

А. А. Медведева

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

Развитие космической техники предполагает повышенный спрос на плазменные двигатели для космических аппаратов. При создании двигателей нового поколения возникает ряд проблем по обеспечению их эффективности, поэтому весьма актуальными являются теоретические и экспериментальные исследования. Магнитное сопло – важный элемент плазменного двигателя, призванный ускорять поток плазмы, переводя его тепловую энергию в кинетическую энергию направленной струи. Проблема состоит в том, что заряженные частицы, двигаясь вдоль замкнутых силовых линий магнитного поля, не могут оторваться от космического корабля, чтобы произвести реактивную силу. Однако, существуют механизмы, способные решить эту проблему, например, изложенные в работе [1].

В качестве экспериментального исследования указанного явления было решено изучить поведение плазмы в магнитном поле расширителя многопробочной ловушки ГОЛ-3. Создана система из тройных зондов Ленгмюра, позволяющая определять температуру и плотность в произвольной точке расширителя. Относительная простота конструкции и принципа работы зонда [2], а также большой объем получаемой информации делает этот метод измерений наиболее предпочтительным.

К настоящему моменту разработана электрическая схема включения тройного зонда и система его позиционирования. Один из зондов установлен в расширителе. Путем сравнения ожидаемой плотности плазмы с измеренной проверено, что он дает адекватные показания. Исходя из полученных значений тока насыщения и плавающего потенциала зонда, вычислены температура и плотность плазмы в расширителе в зависимости от времени с точностью 2% и 1,8%, соответственно. Плотность во времени меняется от $2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ до $6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ и в среднем равна $5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Температура плазмы порядка 10 эВ.

1. A.V.Arefiev, B.N.Breizman. Magnetohydrodynamic scenario of plasma detachment in a magnetic nozzle. Physics of plasma 12, 043504 (2005)
2. В. И. Давыденко, А.А. Иванов, Г. Вайсен. Экспериментальные методы диагностики плазмы. Часть 1. НГУ. Новосибирск, 1999.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. А. Иванов

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВОЙ СТРУКТУРЫ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В АНИЗОТРОПНОЙ ПЛАЗМЕ

М. А. Мамелькина, А. Б. Цыганов
Санкт-Петербургский государственный горный институт
им. Г.В. Плеханова (технический университет)

Создан метод реконструкции полной функции распределения электронов и ее угловых компонент в плазме с произвольной степенью анизотропии. Метод основан на измерении второй производной зондового тока плоского одностороннего зонда по потенциалу при различной его ориентации относительно оси симметрии плазмы. Определены оптимальные углы ориентации зонда для реконструкции угловых компонент функции распределения электронов заданного ранга. На примере модельного эксперимента продемонстрирована точность метода в плазме с произвольной степенью анизотропии.

Экспериментально исследован низковольтный пучковый разряд в гелии.

В кнудсеновском режиме впервые обнаружена релаксация распределения по направлениям импульса за счет рассеяния электронов на плазменных колебаниях, генерируемых пучком, определено сечение процесса электрон-плазмонного «взаимодействия» σ_{e-pl} . Впервые получен критерий пороговой энергетической релаксации анизотропной функции распределения на волнах. Показано, что в широком диапазоне условий плазменно-пучковый механизм доминирует, если разрядный промежуток превышает пять длин волн ленгмюровских колебаний, генерируемых пучком.

В столкновительной плазме ФРЭ слабо анизотропна. По этой причине, при теоретическом рассмотрении релаксации пучка в таких условиях, до сих пор пренебрегали эффектом возбуждения волн. Впервые измерена релаксация слабо анизотропного пучка электронов путем возбуждения ленгмюровских волн. Экспериментально показано, что, несмотря на сравнительно слабую анизотропию пучка, при достижении критического тока разряда, происходит смена столкновительного механизма энергетической релаксации на плазменно-пучковый.

Выполненные исследования нашли практическое приложение в плазменной энергетике и в новых разработках по охране окружающей среды.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А.С. Мустафаев

УСКОРЕНИЕ ИОНОВ МЕЖДУ ДВУМЯ ПЛАЗМАМИ, РАЗДЕЛЕННЫМИ ОДНОЙ СЕТКОЙ, ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ШИРОКОГО ПУЧКА БЫСТРЫХ АТОМОВ

А. С. Метель, Ю. А. Мельник, В. В. Панин

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

При использовании источника широкого пучка нейтральных быстрых атомов аргона с полым титановым катодом диаметром 210 мм, глубиной 90 мм и с плоской эмиссионной сеткой для травления сложных профилированных углублений в твердых износостойких материалах, в том числе и в диэлектрических керамиках, установлено, что диаметр зоны однородного травления зависит от угловых характеристик ускоренных частиц вблизи эмиссионной сетки источника. Быстрые нейтральные атомы образуются в результате резонансной перезарядки ионов, ускоряемых между плазменным эмиттером и вторичной плазмой в рабочей вакуумной камере, разделенными единственной эмиссионной сеткой.

Показано, что на расстоянии от сетки, превышающем до 4 раз длину резонансной перезарядки, упругие столкновения не оказывают заметного влияния на пространственное распределение скорости травления в вакуумной камере, а диаметр зоны однородного травления увеличивается с уменьшением энергии ускоренных частиц и с ростом тока пучка.

1. С. В. Пинегин, А. В. Орлов, Ю. Б. Табачников, Прецизионные опоры качения и опоры с газовой смазкой. М.: Машиностроение, 1984. 216 с.

2. А. И. Григоров, А. П. Семенов, Обработка газовых подшипников с применением ионного распыления. М.: Наука, 1976. 124 с.

3. А. С. Метель, С. Н. Григорьев, А. Н. Исайков, Ю. А. Мельник, Изв. вузов. Физика. 2006. №8. С. 76 – 79.

4. S. Grigoriev, Yu. Melnik, A. Metel, Surf. Coat. Technol. 2002. V. 156. No 1/3 P. 44 – 49.

5. US Patent No 6,285,025, Int. C1. H01S 1/00; H01S 3/00. Source of fast neutral molecules, A. S. Metel, S. N. Grigoriev, PCT Filed Mar. 18, 1997, Dated Sep. 4, 2001.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. С. Н. Григорьев

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТРАВЛЕНИИ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

Н. В. Ситников

Новосибирский государственный университет

В современной микроэлектронике в связи с увеличением плотности структурных элементов микросхем остро встает вопрос о разделении слоев друг от друга. Для этого необходимо использовать материалы с низким показателем диэлектрической проницаемости. В качестве такого материала может выступать пористый диоксид кремния. Однако пористые материалы обладают высокой реакционной способностью, что затрудняет их использование. Решение проблемы находят в дополнительной предобработке образцов, что снижает их реакционную способность.

Известно, что реакционная способность зависит от пористости. Понимание зависимости химических свойств от структуры пленки позволит нам модифицировать поверхность в нужном направлении. Ключом к такому пониманию служит изучение изменений в электронном строении поверхностных атомов.

Так обработка в плазме вызывает закрытие пор, что приводит к снижению химической активности. Меняя состав газа-травителя, условия травления и исключая разрушающую поверхность пленки ионную компоненту плазмы, можно изменять реактивную способность под действием УФ-излучения плазмы.

В данной работе на основе экспериментальных данных предложен механизм, объясняющий вызванное внешними воздействиями изменение химической активности поверхности пленок на основе диоксида кремния. Было промоделировано влияние обработки пористых пленок в плазме на их реакционную способность.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИИ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТИ УДВОЕННОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА УСТАНОВКЕ ГОЛ-3

В. Ф. Скляр^{1,2}, С. А. Кузнецов^{1,3}, А. В. Бурдаков^{1,2}, М. В. Иванцовский¹,
С. А. Кузнецов^{1,3}, К. И. Меклер¹, С. В. Полосаткин¹, С. С. Попов¹,
В. В. Поступаев^{1,3}, А. Ф. Ровенских¹, С. Л. Синицкий^{1,3}, Ю. С. Суляев¹

¹Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

²Новосибирский государственный технический университет

³Новосибирский государственный университет

В настоящее время исследование ленгмюровской турбулентности в плазме, а также связанных с ней нелинейных процессов является одной из фундаментальных и неразрешённых до конца задач. В частности, одним из характерных процессов, протекающих в турбулентной плазме, является слияние двух ленгмюровских волн с образованием электромагнитной волны с частотой близкой к удвоенной плазменной частоте. В связи с малой изученностью указанного $2\omega_p$ -процесса в лабораторных условиях, в проводимых на установке ГОЛ-3 (ИЯФ СО РАН) экспериментах по турбулентному нагреву плотной плазмы мощным релятивистским электронным пучком, представляется возможность лабораторного исследования особенностей $2\omega_p$ -эмиссии, возникающей при развитии пучковой неустойчивости РЭП в горячей замагниченной плазме.

В настоящей работе представлены результаты проведенных на установке ГОЛ-3 экспериментов по регистрации эмиссии излучения в окрестности удвоенной плазменной частоты, лежащей в диапазоне частот 210-540 ГГц. Для регистрации использована оригинальная квазиоптическая система многоканальной $2\omega_p$ -радиометрии, в которой частотное разделение каналов (4-х и более) обеспечивается с помощью полосовых сеточных интерференционных фильтров.

В проведенной серии пучково-плазменных экспериментов обнаружен высокий уровень $2\omega_p$ -эмиссии в ходе большей части времени инжекции РЭП (~8-10 мкс). Выявлено наличие резких всплесков эмиссии с длительностью 8-80 мкс при одновременном изменении спектра эмиссии, что указывает на модуляцию плотности плазмы в процессе турбулентного нагрева электронным пучком. Обнаружено, что для регистрируемого под углом 90° к оси соленоида ГОЛ-3 субмиллиметрового излучения поляризация перпендикулярная магнитному полю является преобладающей.

Научный руководитель – С. А. Кузнецов

СОЗДАНИЕ ОБЗОРНОГО СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

Н. В. Сорокина

Новосибирский государственный технический университет

На установке ГОЛ-3 в ИЯФ СО РАН проводятся исследования по нагреву и удержанию плазмы в многопробочной ловушке. В проводимых на установке экспериментах для определения параметров плазмы широко применяются оптические спектральные диагностики. Одной из задач по развитию диагностических систем является разработка и создание обзорного спектрометра видимого излучения. Эта диагностика предназначена для получения полного обзорного спектра плазмы для определения состава и концентрации примесей и оценки эффективного заряда плазмы.

Проблема регистрации обзорного спектра в импульсном эксперименте состоит в отсутствии адекватных детекторов для регистрации излучения. Регистрация излучения в спектральном диапазоне ~ 300 нм с удовлетворительным спектральным разрешением требует координатно-чувствительного детектора (линейки) с количеством пикселей не менее 2000 и синхронной регистрацией данных. В настоящее время такие линейки не доступны. В то же время для регистрации изображений на установке широко применяются ПЗС-камеры с размерами матрицы 1392x1032 точек и временем экспозиции до 7 мкс. Основная идея разрабатываемого спектрометра состоит в регистрации нескольких участков спектра, разнесенных по высоте, на одной ПЗС-матрице. Реализация данной идеи накладывает некоторые требования на оптическую схему спектрометра, основное из которых – отсутствие астигматизма. Как известно, при использовании зеркальной сферической оптики это требование выполнить невозможно, поэтому в качестве фокусирующих элементов использованы фотографические объективы.

В результате работы разработана и реализована схема данного спектрометра, регистрирующего излучение в диапазоне 300 нм со спектральным разрешением 0,2 нм.

Спектрометр готов для размещения его на установке ГОЛ-3 и проведения запланированных экспериментов. Разработанный прибор может быть использован для контроля содержания примесей в термоядерных установках, плазменных эмиттерах ионных источников и технологических плазменных установках.

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

ЭКРАНИРОВАНИЕ ПЫЛЕВОЙ ЧАСТИЦЫ СЛАБОСТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМОЙ

Р. О. Хохлов

Институт теплофизики СО РАН

Новосибирский государственный университет

Одной из ключевых проблем в понимании физики пылевой плазмы является определение заряда пылевой частицы и его экранирования окружающей плазмой [1-3]. В зависимости от параметров плазмы, экранирование может иметь различный характер.

В данной работе рассматривается случай слабостолкновительной плазмы. В пределе малой, но ненулевой частоты столкновений, часть ионов, испытав резонансную перезарядку с нейтральными атомами вблизи пылевой частицы (несущей, отрицательный заряд, порядка $10^3 - 10^5$ зарядов электрона), имеют финитные траектории. То есть, возникает явление захвата ионов пылевой частицей. Захваченные ионы вносят существенный вклад в экранирование. Суммарный заряд захваченных ионов, может составлять, по абсолютной величине, до половины заряда пылевой частицы. В эксперименте, как правило, удастся измерить именно сумму зарядов пылевой частицы и окружающих ее захваченных ионов.

В ходе работы разработан численный метод, позволяющий рассчитать самосогласованный потенциал пылевой частицы в плазме с учетом явления захвата. Численно решается уравнение, описывающее равновесие вновь захватывающихся ионов и ионов, «освобождающихся» от захвата в результате последующих столкновений. Решается ряд проблем, связанных с особенностями в интегралах, высокой размерностью уравнений и оптимизацией алгоритма. Разработанные в данной работе методы будут применены при рассмотрении экранирования частицы в столкновительном режиме.

-
1. M. Lampe et al. *Phys. Plasmas*. **10**, 1500, (2003).
 2. G.I. Sukhinin, A.V. Fedoseev, S.N. Antipov, O.F. Petrov, V.E. Fortov, *Phys. Rev. E*, **79**, (2009).
 3. A.V. Zobnin, A.D. Usachev, O.F. Petrov, V.E. Fortov, *Physics of Plasmas*, **15** 043705(2008)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Г. И. Сухинин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПУЧКА ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ ВОДОРОДА ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА

Д. В. Юров

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

Генерация стационарных пучков отрицательных ионов с малым эмиттансом является актуальной задачей для физики и техники ускорителей. В поверхностно-плазменном источнике с пеннинговской геометрией электродов формирование пучка происходит в основном из ионов, генерируемых в результате неупругого процесса конверсии атомов водорода в отрицательные ионы на покрытых цезием поверхностях элементов газоразрядной системы источника. Часть ионов, генерируемая на поверхности анода, имеет начальную энергию менее 1 эВ, что создает благоприятные условия для минимизации эмиттанса пучка. Однако, может иметь место конверсия в ионы атомов на поверхности катода источника, а также образование отрицательных ионов в объеме плазмы. Наличие дополнительных групп ионов приводит к увеличению эмиттанса пучка.

Целью работы является определение вклада различных процессов генерации ионов в источнике. Ионы катодной фракции получают дополнительную скорость, ускоряясь в прикатодном падении потенциала до энергии в несколько десятков электронвольт. Анализ энергетического спектра может позволить определить вклад каждой фракции в полный ток пучка.

Для измерения энергии ионов в пучке был изготовлен и установлен электростатический анализатор энергетического спектра пучка. Анализ энергетического спектра проводится с помощью однородного электрического поля. Выбор параметров анализатора определялся возможной разрешающей способностью и параметрами исследуемого пучка. Требуемая разрешающая способность анализатора определяется разбросом по энергии между группами ионов и при энергии ионов $W=6$ кэВ составляет $\delta W/W \sim 10^{-3}$.

В докладе будут представлены результаты исследования характеристик анализатора и определения его разрешающей способности при работе на пучке отрицательных ионов с током порядка 1 мА и энергией 3-6 кэВ. Приведены данные экспериментов по определению энергетического спектра при различных режимах работы газового разряда ионного источника.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. Л. Санин

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

КИНЕТИКА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В ГЕТЕРОСИСТЕМЕ INAS/ALAS

Д. С. Абрамкин

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

Измерения кинетики фотолюминесценции (ФЛ) структуры с InAs/AlAs квантовыми точками (КТ) в режиме внутри точечного возбуждения демонстрируют длительное возгорание и затухание ФЛ (рис.1). Длительное возгорание ФЛ КТ может быть связано либо с эффектом изменения интенсивности лазера за время импульса, либо с физическими процессами в КТ. Целью данной работы было выяснение природы длительного возгорания ФЛ в таких структурах.

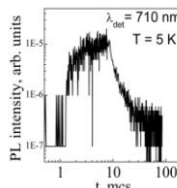


Рис. 1. Кинетика ФЛ InAs/AlAs КТ

В режиме внутри точечного возбуждения выделенной длине волны возбуждения соответствует ансамбль возбуждаемых КТ. Интенсивность ФЛ ансамбля КТ пропорциональна интенсивности возбуждения. Нагрев лазера в течение импульса приводит к красному смещению полосы его излучения, т.е. к изменению интенсивности возбуждающего излучения на выделенной длине волны. Таким образом, меняется интенсивность возбуждения соответствующего ансамбля КТ. Измерения кинетики излучения лазера показали, что характер изменения интенсивности лазера не согласуется с характером возгорания ФЛ КТ, следовательно, возгорание ФЛ КТ не обусловлено нагревом лазера.

Анализ время-разрешённых спектров ФЛ КТ показал, что время возгорания ФЛ КТ пропорционально времени затухания ФЛ КТ. Результаты описаны при помощи трёхуровневой модели КТ, в рамках которой, электрон возбуждается на Γ состоянии КТ, а затем быстро попадает на основное X_{xy} состояние КТ и рекомбинирует излучательно [1]. Время релаксации с электрона с Γ на X_{xy} состояние КТ взято в соответствии с работой [2] 10^{-11} с. Проведённые расчёты показали, что при постоянном уровне возбуждения ФЛ КТ возгорается за время порядка времени жизни носителя заряда на основном состоянии КТ.

1. T. S. Shamirzaev, A. V. Nenashev, A. K. Gutakovskii, A. K. Kalagin, K. S. Zhuravlev, M. Larsson, Phys. Rev. B 78, 085323 (2008).

2. R. Heitz, A. Kalburge and Q. Xie, M. Grundmann, P. Chen, A Hofmann, A. Madhukar, D. Bimberg, Phys. Rev. B 57, 9050 (1998).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Т. С. Шамирзаев

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА ОКСИДОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

М. В. Алейникова, О. С. Оболонская
Кемеровский государственный университет

Исследование оксидов щелочных металлов в настоящее время представляет большой практический интерес в связи с перспективой их применения в различных устройствах. Оксиды щелочных металлов имеют структуру антифлюорита. В настоящей работе вычисления электронной структуры Li_2O , Na_2O и K_2O проводились в пакете CRYSTAL 06 [1] методами Хартри–Фока (HF) и теории функционала плотности (DFT), включая приближение локальной плотности (LDA), обобщённое градиентное приближение (GGA, PBE) и гибридные методы (20 % HF, 80% DFT) B3LYP и B3PW. Использовались базисные наборы O_8-411d1, Li_6-11G, Na_8-511G и K_86-511G [2]. Все вычисления постоянной решётки в пределах 5% согласуются с экспериментом, при этом PBE даёт наилучшее согласие (расхождение в пределах 0.09, 1.5, 0.8 % соответственно, для Li_2O , Na_2O , K_2O). Ширина запрещённой зоны Li_2O (экспериментальное значение 7.99 эВ [3]) наилучшим образом предсказана методом B3LYP (7.764 эВ). Гибридные методы дают хорошее согласие с экспериментом для полной ширины валентной зоны (E_v) Li_2O и Na_2O . B3LYP завышает E_v Li_2O на 2.6% (16.5 эВ), B3PW занижает E_v Na_2O на 1% (15.7 эВ). Для K_2O все методы DFT занижают энергетический зазор $\text{O}_{2s}-\text{O}_{2p}$ на 13-19%. Напротив, зазоры кислород-металл ни один из методов не воспроизводит для Li_2O и Na_2O (расхождение в пределах 22-32 %), тогда как для K_2O B3PW и B3LYP дают хорошее согласие с [4] (завышение зазора $\text{O}_{2p}-\text{K}_{3s}$ на 1.7 % (30.9 эВ) и 1.9 % соответственно). Все методы более чем в 2 раза завышают ширину зоны O_{2p} . Наиболее близкие к эксперименту (1.3, 0.6, 0.3 ± 0.2 эВ [4]) соответственно для Li_2O , Na_2O , K_2O значения получены методом PBE для Li_2O и K_2O (2.749 и 0.724 эВ) и PWGGA для Na_2O (1.36 эВ).

1. Dovesi R., Saunders V.R., Roetti C., Orlando R., Zicovich – Wilson C.M., Pascale F., Civallezi B., Doll K., Herrison N.M., Buch I.J., D’Arco Ph., Liunell M. CRYSTAL 06 User’s Manual. Torino: University of Torino, (2006).

2. Ishii Y., Murakami J., Itoh M. // J. Phys. Soc. Jpn. V. 68. P. 2236 (1999).

3. Mikajlo E.A., Dorsett H.E., Ford M.J. // J. Chem. Phys. V. 120. № 22. P. 10799 (2004).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ю.Н. Журавлёв

ВЛИЯНИЕ СУРЬМЫ НА ВЫГЛАЖИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

И. О. Ахундов

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

Атомно-гладкие поверхности полупроводников важны как для научных исследований, так и для практических применений. Ранее был предложен метод выглаживания GaAs, состоящий в отжиге в условиях, близких к равновесию поверхности с газовой фазой, когда подавлены и рост, и сублимация. С помощью данного метода получены поверхности GaAs(001) с упорядоченной системой атомно-гладких террас, разделенных ступенями моноатомной высоты. Формирование атомно-гладких террасированных поверхностей GaAs происходит при температурах 550-650°C. Эти температуры слишком высоки для использования в технологии изготовления приборов на основе GaAs.

Одна из возможностей понижения температуры выглаживания состоит в использовании адсорбатов, которые могут играть роль «сурфактантов», способствующих диффузии и встраиванию в решетку атомов основного вещества. Одним из таких адсорбатов может быть сурьма [1]. С другой стороны, при изовалентном замещении атомов мышьяка атомами сурьмы на поверхности GaAs(001) формируется устойчивая Sb-стабилизированная реконструкция [2], и это может препятствовать выглаживанию.

Задача данной работы состоит в изучении влияния сурьмы на выглаживание поверхности GaAs(001). Для решения этой задачи проведена серия отжигов в условиях, близких к равновесным по давлению паров галлия и мышьяка, с различным давлением паров сурьмы. Показано, что сурьма не способствует, а препятствует выглаживанию поверхности GaAs(001). Это проявляется в увеличении концентрации островков и общей длины моноатомных ступеней на поверхности при увеличении давления паров сурьмы. Полученный результат согласуется с гипотезой о формировании в процессе выглаживания GaAs(001) устойчивой Sb-стабилизированной реконструкции.

1. W. K. Cheah, W. J. Fan, S. F. Yoon, R. Liu, and A. T. S. Wee, Co-doping carbon tetrabromide and antimony on GaAs (100) in solid source molecular-beam epitaxy, *J. Cryst. Growth* 267, 364 (2004).

2. F Maeda, Y Watanabe, and M Oshima, Sb-induced surface reconstruction on GaAs(001), *Phys. Rev. B* 48, 14733 (1994).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Л. Альперович

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА В НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПОЛЯХ

С. С. Балданов

Амурский государственный университет

Одним из наиболее распространённых методов изучения диэлектрических свойств сегнетоэлектриков является изучение процессов переключения кристаллов в переменных электрических полях. Традиционным является исследование кристаллов в полях синусоидальной формы, однако, наибольший интерес представляет изучение сегнетоэлектриков в полях иной формы, в частности пилообразной.

В работе на кристалл триглицинсульфата подавались пилообразные импульсы чередующейся полярности с амплитудой от -120 В до $+120$ В. Частота сигнала от 3×10^{-3} Гц до 0.2 Гц. С помощью самописца были получены зависимости силы тока от напряжённости приложенного поля $I(E)$ для разных частот. Установлено, что при уменьшении частоты максимумы силы тока смещаются в сторону уменьшения напряжённости приложенного поля. Полуширина максимумов силы тока также уменьшается. Форма пелей остаётся симметричной. Амплитуда пиков увеличивается с уменьшением частоты от 0.2 Гц до 4.55×10^{-2} Гц, затем уменьшается в частотном интервале от 3.13×10^{-2} Гц до 3×10^{-3} Гц.

По полученным данным была построена зависимость статической диэлектрической проницаемости от частоты. На малых частотах в интервале от 0.05 до 0.1 Гц наблюдается два пика. Это можно объяснить тем, что на низких частотах присутствуют как релаксационный механизм, так и гистерезисный механизм переполаризации [1]. С увеличением частоты вклад релаксационного механизма диэлектрических потерь уменьшается вследствие увеличения ширины доменных стенок и ослабления их взаимодействия с точечными дефектами кристалла. При установлении более высоких частот функция становится более гладкой, а вид зависимости более близок к характерному, что говорит об изменении механизма движения доменной границы. В этом интервале частот преобладает гистерезисный механизм переполаризации.

1. А. В. Шильников, А. П. Поздняков, В. Н. Нестеров, В. А. Федорихин, Л. А. Шувалов, О вкладе различных механизмов движения доменных границ в эффективную диэлектрическую проницаемость кристаллов триглицинсульфата в средних (промежуточных) низко- и инфра-низкочастотных полях, ФТТ, 54, 1516 (2001).

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

ИЗУЧЕНИЕ ПИРОЭФФЕКТА В ОБЛУЧЁННЫХ ЭЛЕКТРОНАМИ КРИСТАЛЛАХ ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА

А. Е. Бескоровайнова
Амурский государственный университет

Воздействие любого вида излучения на твёрдое тело приводит к изменению его основных свойств. Облучение приводит к возникновению большого количества дефектов, изменению фундаментальных характеристик, влияет на их структуру.

Облучение кристаллов триглицинсульфата электронами приводит к образованию точечных радиационных дефектов, и возникновению униполярной структуры кристалла [1].

Облучённые кристаллы изучались методом динамического пироэффекта. Форма пироимпульсов свидетельствует о переполяризации кристалла, который перед облучением был поляризован «навстречу электронному лучу» [2].

Кристаллы подвергали старению и наблюдали за изменением формы пироимпульса с течением времени.

По данным эксперимента с помощью программы Areas были посчитаны площади пироимпульсов, которые пропорциональны переключаемому заряду.

В течение трёх суток после облучения форма пироимпульса изменяется, но не совпадает с формой пироимпульса необлучённого кристалла. Примерно через четверо суток начинается новая трансформация формы пироотклика: появляются два ярко выраженных пика противоположной полярности, площади пиков различны, что обусловлено остаточным зарядом, накопленным в процессе облучения. Таким образом, существующий в кристалле облучённый слой также обладает пироэлектрическими свойствами, которые начинают проявляться после релаксации всех процессов в облучённом кристалле.

1. О. М. Галицина, Л. Н. Камышева, С. Н. Дрождин, Релаксация радиационных дефектов в облучённом триглицинсульфате, Физика твердого тела, 40, 116 (1998).

2. В. В. Иванов, Т. И. Иванова, В. В. Макаров, Т.А. Макарова, О. В. Самсонова, Процессы переполяризации монокристаллов триглицинсульфата и дейтерированного триглицинсульфата, облучённых сильноточным импульсным пучком электронов, Физика твердого тела, 48, 1084 (2006).

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

ЭЛЛИПСОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЁНОК $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y/\text{GESN}$, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНО- ЛУЧЕВОЙ ЭПИТАКСИИ

К. О. Бугаев

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

Молекулярно-лучевой синтез плёнок $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y/\text{GeSn}$ с прямозонной зонной структурой представляет большой интерес для создания светоизлучающих приборов на подложке кремния. Предполагается, что использование межзонных и внутризонных переходов в кремнии и германии позволит достигнуть высокой эффективности эмиссии в близкой инфракрасной области (ИК) и станет основой для развития кремниевого лазера в далёкой ИК области с выходом на ТГц диапазон длин волн.

Исследование физических свойств синтезированных плёнок является важной и актуальной задачей. Эллипсометрия - оптический метод исследования поверхностей или объёмных сред, который основан на анализе амплитудных и фазовых изменений световой волны при её взаимодействии с исследуемым объектом, позволяет определить морфологию, состав и толщину слоёв образца. Применяя метод спектроскопической эллипсометрии, можно проследить изменение оптических параметров образца в области критических точек его спектра. Знание этих параметров позволяет получить информацию о зонной структуре исследуемого образца.

Исследуемые образцы изготавливались методом молекулярно-лучевой эпитаксии, путем напыления Ge и Sn на подложку Si. Для правильной интерпретации экспериментальных результатов в работе была определена кинетика окисления на воздухе Ge плёнок, покрытых различными по толщине слоями Si (0; 20; 40 и 60Å), с целью установить оптимальную толщину Si слоя для защиты Ge от окисления. Было установлено, что в течение 2-х недель на поверхности Si вырастает 16 Å SiO_2 . Проведено спектральное исследование образцов Ge, $\text{Ge}_{0.96}\text{Sn}_{0.04}$, $\text{Ge}_{0.92}\text{Sn}_{0.08}$, покрытых 20Å слоем Si. Проанализированы особенности в поведении спектров вблизи критических точек при различной концентрации Sn.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ПРОПУСКАНИЯ ГЕРМАНИЯ

Д. Ю. Воронович

Тверской государственной университет

Германий находит широкое применение в качестве материала для инфракрасной (и не только) техники: на основе монокристаллического и поликристаллического германия изготавливают оптические элементы устройств тепловизионной техники [1, 2].

Это обусловлено рядом ценных свойств германия: относительно высокой механической и лучевой прочностью, негигроскопичностью, сравнительной лёгкостью обработки, малым коэффициентом поглощения в диапазоне длин волн 2-15 мкм и т.д.

В германии коэффициент поглощения, обусловленный свободными носителями заряда, может быть изменён путём введения примесей с соответствующим типом проводимости. Легирование примесью n-типа проводимости до определённого уровня позволяет оптимизировать оптическое пропускание германия.

В работе исследовалось оптическое пропускание кристаллического германия (чистого и легированного примесями n и p – типа проводимости) в спектральном диапазоне 2,3 - 25,0 мкм. Была получена расчётная зависимость коэффициентов ослабления исследуемых образцов от длины волны.

Показано, что максимальным оптическим пропусканием обладают монокристаллы германия, легированные примесью n-типа проводимости (сурьмой) с определённым удельным сопротивлением. Нелегированные монокристаллы, монокристаллы p-типа проводимости (с примесью – галлием) имеют более высокие коэффициенты поглощения.

В работе анализировалось влияние вида и концентрации на длинноволновую (фононную) составляющую часть спектра. Спектр пропускания Ge в диапазоне длин волн 10 - 23 мкм характеризуется наличием нескольких хорошо выраженных минимумов.

-
1. Ю. И. Уханов, Оптические свойства полупроводников. М.: Наука (1977).
 2. Л. З. Криксунов, Справочник по основам инфракрасной техники. М.: Советское радио (1978).

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. И. А. Каплунов

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ЛЕГИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛА ПОЛУПРОВОДНИКА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ПРИМЕСЯМИ

Б. Гаипов

Самаркандский государственный университет

В результате проведённых 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.

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 подавляют генерацию как закалочных, так и других термодинамических дефектов. Заметна их радиационная стойкость, температура отжига 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.

Одним из основных параметров полупроводниковых материалов, определяющих эффективность солнечных элементов, является время жизни неосновных носителей тока. Оно сильно зависит от наличия распределения БДП в объёме кристалла и их активации в процессе изготовления солнечных элементов. Как известно, при изготовлении солнечных элементов (различных термообработках) время жизни неосновных носителей тока существенно падает, что ухудшает параметры готовых элементов.

Поэтому полученные новые экспериментальные результаты представляет большой практический интерес в процессе изготовления солнечных элементов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент С. К.Ахроров

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПЛЁНКАХ $Cd_xHg_{1-x}Te$ ПРИ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ И ПОСЛЕДУЮЩЕМ ОТЖИГЕ

М. О. Гарифуллин

Новосибирский государственный университет

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Основным полупроводниковым материалом для ИК фотодиодов на диапазон длин волн 3-5 и 8-14 мкм является твёрдый раствор теллуридов кадмия и ртути $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ). Для изготовления фотодиодов наиболее широко используется имплантация ионов бора в вакансионный материал КРТ р-типа. Формирующийся при этом профиль концентрации носителей заряда определяет вольт-амперные характеристики (ВАХ) диодов.

В литературе имеются экспериментальные данные об уменьшении туннельной составляющей обратного тока и увеличении дифференциального сопротивления диодов при постимплантационном отжиге. Для объяснения этих фактов привлекаются различные механизмы [1, 2], которые требуют уточнения.

В работе с помощью послойного травления изучался профиль носителей заряда в структуре, полученной ионной имплантацией атомов бора в вакансионный материал КРТ р-типа, до и после отжига. Показано, что после ионной имплантации в материале формируется p^+-n^- -р структура. В n^- -слое наблюдается градиент концентрации электронов, а ширина этого слоя прямо пропорциональна имплантированной дозе и обратно пропорциональна концентрации дырок в р-КРТ. Уровень концентрации электронов в n^- -слое после отжига определяется фоновым уровнем доноров в образце, а ширина n^- -слоя растёт со временем отжига. Численный расчёт зависимости глубины залегания n^- -р перехода от концентрации вакансий ртути и времени отжига соответствует полученным экспериментальным данным. ВАХ диодов после отжига показали уменьшение вклада туннельной составляющей и некоторое увеличение диффузионного тока. Это объясняется увеличением ширины n^- -слоя и изменением профиля концентрации электронов в n^- -слое после отжига. Обсуждается роль междоузельной ртути в механизме формирования профиля концентрации в имплантированных образцах.

1. D. Chandra, H. F. Schaake, M. A. Kinch, Junction stability in ion-implanted mercury cadmium telluride, J. Electron Mater. 37, 1329 (2008).

2. L. O. Bubulac, W. E. Tennant, Role of Hg in junction formation in ion-implanted $HgCdTe$, Appl. Phys. Lett. 51, 355 (1987).

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

УЧЁТ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО СРОДСТВА ОТ СОСТАВА ПРИ РАСЧЁТЕ ЗОННЫХ ДИАГРАММ ВАРИЗОННЫХ СТРУКТУР $Cd_xHg_{1-x}Te$

Д. И. Горн, С. Н. Несмелов
Томский государственный университет

Одним из наиболее перспективных материалов для освоения среднего и дальнего ИК - диапазонов в оптоэлектронике являются узкозонные полупроводниковые твёрдые растворы $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ). При конструировании фотоприёмных устройств, включающих нанослой и слой с переменным составом, необходимо определение их зонной диаграммы. Часто при подобных расчётах используют ряд допущений, позволяющих значительно упростить вычисления. Расчёты часто проводят без учёта зависимости от состава таких параметров полупроводника, как, например, электронное сродство. При этом отказ от подобных приближений позволяет достичь существенно большего соответствия расчётных данных эксперименту [1, 2].

Таким образом, целью данной научной работы является методика определения зонных диаграмм сложных полупроводниковых структур на основе твёрдого раствора $Cd_xHg_{1-x}Te$, включающих наноразмерные слои и слои с переменным составом.

В результате выполнения работы предложена методика определения электронного сродства полупроводниковых твёрдых растворов, исходя из представлений об уровне локальной электронной нейтральности. Определена зависимость электронного сродства от состава КРТ. Рассчитаны зонные диаграммы и вольт-фарадные характеристики гетерозонных структур КРТ с варизонными слоями для коррекции параметров структуры и защитных покрытий и сравнения с экспериментальными данными с целью подтверждения состоятельности предложенной в работе методики.

Работа поддержана в рамках ФЦНТП РФ госконтрактом № 02.523.12.3006.

1. А. В. Войцеховский, В. Н. Давыдов, Фотоэлектрические МДП-структуры из узкозонных полупроводников, Томск, Радио и связь (1990).

2. Б. А. Зон, С. Э. Клейменов, А. Н. Лихолет, С. В. Фетисова, Модель полупроводника с переходной областью переменного состава, Микроэлектроника, 21, 18 (1992).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А.П. Коханенко

ИЗУЧЕНИЕ ПРЕЛОМЛЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ ИЗ p^+ -GaAs(Cs,O)

Д. В. Горшков

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

Существует теория, что при переходе фотоэлектрона через границу раздела p^+ -GaAs(Cs,O) – вакуум его траектория изменяется из-за квантово-механического эффекта преломления и рассеяния по импульсу на дефектах и примесях.

Целью работы является изучение данных явлений с использованием баллистических фотоэлектронов. Фотоэлектроны называются баллистическими на этапе движения от момента “рождения” до первого столкновения или выхода в вакуум. Использование баллистических фотоэлектронов позволяет создать в полупроводнике группу электронов с определенной энергией и направлением движения, зависящими от энергии фотонов и поляризации возбуждающего света [1].

Для изучения преломления и рассеяния фотоэлектронов на GaAs – фотокатод направляется пучок монохроматического света диаметром 100 мкм. Возбужденные фотоэлектроны выходят в вакуум и попадают в однородное тормозящее электрическое поле, выделяющее баллистические электроны. Далее электроны попадают в микроканальную пластину. После прохождения через микроканальную пластину баллистические электроны попадают на экран люминофора. 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 экспериментов.

1. Оптическая ориентация, под ред. Б. П. Захарчени и Ф. Майера, Ленинград, Наука (1989).

Научный руководитель - д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Терехов

ОБРАТИМЫЙ ПЕРЕХОД ОТ ПОЛУМЕТАЛЛА К ПОЛУПРОВОДНИКУ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ГРАФЕНА С ВОДОРОДОМ

Е. Ю. Жданов

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

В последнее время растёт внимание исследователей к графану - химическому соединению графена с водородом. Согласно теоретическим предсказаниям графан является прямозонным полупроводником с шириной запрещенной зоны 3.6 эВ [1]. Интерес к графану вызван перспективой его использования в качестве широкозонного материала в электронных приборах на основе графена, у которого отсутствие запрещенной зоны ограничивает возможность его использования в качестве канального материала для полевого транзистора. В работе [2] был создан электрохимический ключ на основе графена, который открывает новые возможности в графеновой электронике. Авторы предполагают, что в нем под действием затворного напряжения происходит обратимый электролитический переход от графена к графану. Однако, несмотря на актуальность исследований, методы получения графена, и особенности химического перехода от графена к графану остаются неизученными.

В данной работе изучается возможность получения графана и обсуждаются его электрические свойства. Для экспериментов используется графен, полученный отсоединением от высокоориентированного пиролитического графита на подложку SiO₂ электростатическим методом. Для достижения цели проводятся эксперименты по созданию электрохимического ключа, а также по непосредственной адсорбции атомов водорода на графен. По изменению электрической проводимости в ходе экспериментов делается вывод о химической модификации вещества. Для проведения электрических измерений была разработана и апробирована методика по изготовлению омических контактов Ti/Au к графеновым структурам.

Планируемый анализ данных, полученных из этих экспериментов, позволит судить об образовании и обратимости перехода графен-графан.

1. J. O. Sofo et al. Graphane: two-dimensional hydrocarbon, Phys. Rev. B75, 153401 (2007).

2. T. J. Echtermeyer et al. Non-volatile switching in graphene field effect devices, IEEE Electron Device Letters, 29, 952 (2008).

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук А. А. Пахневич,
канд. физ.-мат. наук А. Б. Воробьев

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НАНОКЛАСТЕРОВ ГЕРМАНИЯ В ДИОКСИДЕ КРЕМНИЯ МЕТОДОМ АТОМНО - СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

А. А. Зеленина

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

Аморфные и кристаллические нанокластеры Ge (квантовые точки) в термическом SiO₂ на подложке Si, полученные методом высокодозовой ионной имплантации однозарядных ионов Ge⁺ (концентрация Ge до 10-15 ат % в пике распределения, ускоряющее напряжение 50-150 киловольт) с последующим высокотемпературным отжигом (1000-1100°С) в азоте, позволили впервые получить видимое невооружённым глазом фиолетово-голубое свечение при комнатной температуре в системе, полностью совместимой со стандартной технологией кремниевых интегральных схем [1], а также реализовать элементы флэш-памяти с уникальными характеристиками. Поэтому неразрушающая диагностика таких структур представляет исключительный интерес.

В настоящей работе показано, что метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) с проводящим остриём позволяет визуализировать самые крупные (размером ~ 30-50 нм) нанокластеры Ge в имеющемся ансамбле квантовых точек после предварительной зарядки их электронами с помощью всё того же острия. Исследование выполнено на АСМ «Ntegra Auga» фирмы NT-MDT с остриями из сильно легированного кремния. Ценность полученного результата состоит в том, что обнаружение таких кластеров стандартным и трудоёмким методом просвечивающей электронной микроскопии фактически невозможно по причине их малой концентрации, и поэтому подавляющее большинство исследователей даже и не подозревают о присутствии таких объектов в их образцах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию Министерства науки и образования РФ в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы в 2009-2010 гг.» через грант «3Н-312-09» НГУ.

1. L. Rebohle, J. von Borany, R. A. Yankov, W. Skorupa, I. E. Tyschenko and K. Leo. Strong blue and violet photoluminescence and electroluminescence from germanium-implanted and silicon-implanted silicon-dioxide films. Appl. Phys. Letters, 71, 2809 (1997).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА В ДЕТЕКТОРНЫХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ GaAs МЕТОДОМ КЕЛЬВИН-ЗОНД-МИКРОСКОПИИ

О. Ж. Казтаев, В. А. Новиков, И. В. Пономарёв
Томский государственный университет

Кельвин-зонд-микроскопия является одним из методов сканирующей зондовой микроскопии, реализованных в современных атомно-силовых микроскопах [1]. В настоящее время Кельвин-зонд-микроскопия находит применение для исследования распределения потенциалов в приборных микро - и наноструктурах. Причём возможно определение профиля потенциала в объёме исследуемых многослойных приборных структур при приложении внешних смещений различной полярности. Владение информацией о распределении потенциала в многослойных приборных структурах позволяет установить области наибольшего падения напряжения в них. В результате появляется возможность для более детального анализа приборных характеристик структур.

Целью данной работы было исследование распределения потенциала в детекторных эпитаксиально-диффузионных $p-i-n$ -структурах на основе i -GaAs:Cr слоев с помощью Кельвин-зонд-микроскопии. Слои i -GaAs:Cr создавались путем высокотемпературной диффузии атомов Cr в эпитаксиальные n -GaAs:S слои. В работе исследовались $p-i-n$ -структуры, полученные при различных температурах и временах диффузии атомов Cr.

В результате проделанной работы установлено, что при обратных смещениях основное падение напряжения в эпитаксиально-диффузионных $p-i-n$ -структурах происходит на $p-i$ -переходе на глубине не более 60% от общей толщины i -GaAs:Cr. Кроме того, при увеличении обратного смещения на профиле потенциала $p-i$ -перехода наблюдается прогиб. Появление данного прогиба обусловлено увеличением концентрации ионизированных атомов хрома в $p-i$ -переходе за счет изменения положения уровня Ферми на зонной диаграмме структуры. В результате в i -области происходит перераспределение объёмного заряда, что подтверждается данными измерений распределения ёмкости вдоль боковых сколов исследованных структур с помощью сканирующей ёмкостной микроскопии.

1. В. Л. Миронов Основы сканирующей зондовой микроскопии, М.: Техносфера, (2004).

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. В. П. Гермогенов, канд. физ.-мат. наук, с.н.с. М. Д. Вилисова

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА ТОНКИХ СЛОЁВ SiO₂ НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

А. Н. Карпов

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

Проведено моделирование роста тонких слоёв SiO₂ на поверхности кремния с помощью программного комплекса SilSim3D. За основу взята разработанная ранее Монте-Карло модель системы Si-SiO₂ на частично заполненной алмазоподобной сетке [1]. При моделировании окисления основными процессами являлись диффузионные скачки частиц и химические преобразования между ними. В модели предусмотрена возможность задания одно- и двухкомпонентных химических реакций. Параметрами модельного технологического процесса являлись температура (1100-1400 К) и давление в диапазоне $4 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-2}$ Торр. Подобраны схема и параметры реакций, обеспечивающие кинетику модельного роста, близкую к реальной. Толщина модельного окисла достигала 20 Å. Исследовалась зависимость толщины окисных слоёв от времени при различных значениях температуры и давления. Получены распределения атомов кремния и кислорода на границе Si-SiO₂ в направлении, перпендикулярном подложке. На основе сопоставления результатов моделирования с теоретическими расчётами работы [2] оценена энергия активации процесса окисления. Численное значение энергии активации согласуется с данными, полученными на основе экспериментальных работ. Показано, что эта величина является характеристикой обобщённого воздействия всех факторов, влияющих на рост слоя: диффузии молекулярного кислорода, а также диффузии, образования и распада молекул SiO. Изменение энергетических характеристик распада и особенно образования SiO сильно влияет на скорость роста окисла и форму кинетических кривых.

Работа поддержана грантом РФФИ (08-02-00068).

1. A. N. Karpov, I. G. Neizvestny, N. L. Shwartz, Z. Sh.Yanovitskaya, Monte Carlo simulation of silicon surface active and passive oxidation by O₂ and nc-Si aggregation in SiO_x layers, Proceedings of 16th International Symposium Nanostructures: Physics and Technology, Vladivostok, Russia, July 14-18, 2008, Ioffe Institute, St Petersburg, P. 175-176.

2. R. M. C. de Almeida, S. Goncalves, I. J. R. Baumvol, F. C. Stedile, Dynamics of thermal growth of silicon oxide films on Si, Phys. Rev. B, 61, No. 19, 12992-12999 (2000).

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук Н. Л. Шварц

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ПЛЁНОК АМОРФНОГО КРЕМНИЯ ПРИ ФЕМТО - И НАНОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

А. С. Качко

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

Плёнки аморфного кремния на нетугоплавких подложках используются во многих устройствах широкоформатной микроэлектроники – от дисплеев до панелей солнечных элементов. Подвижность носителей зарядов в поликристаллическом кремнии на порядки больше, чем в аморфном кремнии, поэтому актуальна задача развития технологии низкотемпературной кристаллизации. В этом плане лазерные отжиги – одно из перспективных направлений.

Исходные образцы представляли собой плёнки a-Si:H с толщинами от 20 до 100 нм, осаждённые с применением плазмо-химических методов на стеклянные подложки. Для кристаллизации использовались эксимерный лазер KrF (длина волны 248 нм, длительность импульса 25 нс) и титан-сапфировый лазер (длина волны 800 нм, длительность импульса 30 фемтосекунд). Анализ структуры плёнок проводился с применением спектроскопии комбинационного рассеяния света.

Применение наносекундных лазерных импульсов позволило кристаллизовать плёнки с толщиной до 20 нм (за счёт большого поглощения света в них) и с большим содержанием водорода. При анализе фемтосекундных лазерных воздействий были подтверждены эффекты нетермических процессов [1, 2]. Обнаружены проявления взрывной кристаллизации в плёнках с большим содержанием водорода. Удалось уточнить режимы полной кристаллизации для плёнок с содержанием водорода менее 20 атомарных процентов.

1. В.А. Володин, М. Д. Ефремов, Г. А. Качурин, А. Г. Черков, М. Deutschmann, N. Vaersch, Фазовые переходы в плёнках a-Si:H на стекле при воздействии мощных фемтосекундных импульсов: проявление нелинейных и нетермических эффектов, Письма в ЖЭТФ, 86, 128 (2007).

2. D. V. Tran, Y. C. Lam, H. Y. Zheng, V. M. Murukeshan, J. C. Chai, D. E. Hardt, Femtosecond laser processing of crystalline silicon, Report to Innovation in Manufacturing Systems and Technology (IMST), Issue Date (2005).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭДС ХОЛЛА И МАГНЕТСОПРОТИВЛЕНИЯ В ДВУМЕРНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ HgTe

С. С. Кобылкин, М. Е. Кузнецова
Новосибирский государственный университет
Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

В настоящее время ведутся исследования полупроводников с нулевой запрещенной зоной, в частности — теллурида ртути [1]. Применительно к гальвамагнитным эффектам, малая ширина запрещенной зоны позволяет участвовать в транспорте зарядов как электронам, так и дыркам даже в слабых полях. В этом случае требуется введение модели двух носителей зарядов, основными параметрами которой являются подвижность и концентрация. Квантовая яма — удобный объект для изучения.

В работе исследуются легированные и нелегированные образцы с квантовыми ямами на основе гетеропереходов CdHgTe/HgTe/CdHgTe. Получены зависимости магнетосопротивления и ЭДС Холла от слабого магнитного поля (до 0.2 Тл) при температурах 300К, 4.2К. Проведена аппроксимация с использованием моделей электронной и электронно-дырочной проводимости, по которой оценены значения подвижности и концентрации носителей зарядов. В нелегированном образце при низкой температуре обнаружена нелинейная зависимость ЭДС Холла от магнитного поля и отличная от параболической - магнетосопротивления. В легированном образце результаты согласуются с моделью электронной проводимости.

1. З. Д. Квон, Е. Б. Ольшанецкий, Н.Н. Михайлов, Д. А. Козлов, Двумерные электронные системы в квантовых ямах на основе HgTe, Физика низких температур, 35, №1. (2009).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук З. Д. Квон

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СПИНОВОГО РАСЩЕПЛЕНИЯ ЭКСИТОНОВ В ОБЪЁМНОМ AlGaAs

Е. В. Кожемякина

Институт физики полупроводников СО РАН

Несмотря на то, что спиновые явления в полупроводниках привлекают значительный интерес, очень небольшое количество работ было посвящено изучению спина экситонов в объеме. В частности, расщепление по энергии между экситонами со спинами $+1$ и -1 , возникающее при возбуждении циркулярно поляризованным светом вследствие экситон-экситонного взаимодействия, экспериментально изучалось только в квантово-размерных структурах [1, 2]. В данной работе сообщается о первом экспериментальном наблюдении эффекта спинового расщепления в объеме.

В работе исследовались высокочистые образцы $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ с концентрацией алюминия $x = 0, 6$ и 15% , выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Толщина образцов составляла $2,5$ мкм. Измерения проводились при температуре $4,2$ К. Циркулярно поляризованная нестационарная фотолюминесценция (ФЛ) возбуждалась титан-сапфировым лазером, длина волны которого менялась от 703 до 805 нм, длительность импульса составляла 2 пс.

В спектрах нестационарной ФЛ наблюдалось расщепление между экситонами со спинами $+1$ и -1 . Максимальная величина расщепления наблюдалась в образце с концентрацией алюминия $x = 15\%$ и составляла $0,05$ мэВ. В работе была изучена зависимость величины расщепления от разности между концентрациями экситонов с противоположными спинами, и было показано, что при плотностях возбуждения до $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ зависимость является линейной и хорошо совпадает с предсказанием теории [3]. При более высоких уровнях возбуждения наблюдалось насыщение величины расщепления, связанное с уменьшением доли экситонов в общем объеме генерируемых электронно-дырочных пар из-за процессов их ионизации.

1. T.C. Damen, L. Vina, J.E. Cunningham, J. Shah, L.J. Sham, Phys. Rev. Lett. 67, 3432 (1991).

2. Zheng. Sun, Z.Y. Xu, Yang Ji, B.Q. Sun, B.R. Wang, S.S. Huang, and H.Q. Ni, Appl. Phys. Lett. 90, 071907 (2007)

3. J. Fernandez-Rossier, C. Tejedor, L. Munoz and L. Vina, Phys. Rev. B, 54, 11582 (1996).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук К. С. Журавлёв

КЕЛЬВИНОВСКАЯ СКАНИРУЮЩАЯ ЗОНДОВАЯ МИКРОСКОПИЯ: ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗОНДА И ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРИЛОЖЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА

А. С. Кожухов

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

Изучение электрофизических свойств поверхности полупроводников является актуальным для понимания возможности создания и использования наноразмерных объектов. Одним из передовых методов для исследования поверхности является метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) [1]. Например, исследование распределения электрического заряда и потенциала по поверхности, изучение характеристик р-п переходов могут быть произведены с помощью одной из методик АСМ, называемой кельвиновской сканирующей зондовой микроскопией (КСЗМ) [2]. В основе данной методики лежит регистрация силы взаимодействия зонда и поверхности в условиях приложения периодического потенциала.

Развитие данной методики требует более детального анализа взаимодействия зонда микроскопа и поверхности в условиях приложения потенциала. Особый интерес представляет возможность нанесения заряда на поверхность образца с помощью КСЗМ, при этом необходимо изучение таких характеристик, как время сохранения заряда на поверхности, изменение сопротивления образца. Целью работы являлось исследование особенностей взаимодействия зонда и поверхности в условиях приложения потенциала.

Работа проводилась на АСМ Ntegra Aura (NT MDT), использовались стандартные кантилеверы. Для удаления влаги с поверхности образец помещался в герметичную камеру, в которой создавался вакуум (10^{-2} Торр). Сканирование и зарядка поверхности GaAs проводились в полуконтактном режиме. Заряд на поверхность наносился в условиях изменения прижима и разности потенциалов и при различных временах приложения потенциала и давления.

В результате получены области поверхности с нанесённым зарядом. Были оптимизированы условия зарядки, при которых значительно изменяется сопротивление образца.

1. G. Binnig, C. F. Quate, Ch. Gerber, Atomic force microscope, Phys. Rev. Letters, 56, 930 (1986).

2. M. Nonnenmacher, M. P. O'Boyle, H. K. Wickramasinghe, Kelvin probe force microscopy, Appl. Phys. Letters, 58, 2921 (1991).

АНАЛИЗ ФОРМЫ КАНАВКИ НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ (111) ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Т. В. Козлова

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

Одним из самых актуальных направлений в современной физике полупроводников является изучение атомных процессов, протекающих на поверхности кристаллов. При нагреве кристалла кремния пропусканием постоянного электрического тока в определённых интервалах температур на поверхности (111) происходит перестройка системы эквидистантно расположенных моноатомных ступеней в систему эшелонов ступеней [1]. Это объясняется наличием у адатомов эффективного заряда, знак и величина которого на поверхности Si(111) в настоящее время остаются невыясненными.

Для определения эффективного заряда на поверхности Si(111) нами проводилось изучение профиля канавки, созданной методом локального распыления остро сфокусированным ионным пучком Ga^+ . В работе созданы мезаструктуры в виде прямоугольных канавок глубиной 0,1-1 мкм, шириной 1-3 мкм и длиной 3-8 мкм. Установлено влияние тока пучка, времени экспонирования и числа слоёв прорисовки на микрорельеф канавки, её глубину и шероховатость на дне. Изображения мезаструктур получены с помощью сканирующего электронного микроскопа. Затем производился анализ глубины и рельефа методом атомно-силовой микроскопии.

Профиль канавки анализировался в процессе термического отжига в сверхвысоком вакууме в интервале температур 830 – 1350 °С при различных временах отжига. Полученные результаты обсуждаются в рамках теории электромиграции поверхностных атомов кремния и эшелонирования.

1. A. V. Latyshev, A. L. Aseev, A. V. Krasilnikov and S. I. Stenin, Transformations on clean Si(111) stepped surface during sublimation, Surf.Sci. 213, 157 (1989).

Научный руководитель – член-корр. РАН А. В. Латышев

ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВОБОДНОЙ ВОДЫ

О. В. Кондратьева, А. В. Репин

Омский государственный педагогический университет

Влажность почвы официально признана Программой NASA Post 2002 как важнейший параметр, поскольку влажность является, возможно, одним из наиболее критических параметров поверхности Земли, контролирующим влаго- и энерго- обмен между атмосферой и поверхностью почвы. Оперативное и надёжное измерение влажности в планетарном масштабе возможно только с использованием микроволновых методов дистанционного зондирования. В этих методах ключевым параметром является зависимость комплексной диэлектрической проницаемости (КДП) почв от влажности и частоты. Основной вклад в КДП почв вносит вода, находящаяся в почве в двух состояниях - свободном и связанном. Диэлектрические характеристики связанной воды в различных почвах отличаются, однако их удалось соотнести с гранулометрическим составом [1]. Измерение КДП почв показывает, что диэлектрические свойства «свободной» воды в почвах немного отличаются от свойств истинно свободной воды и в различных почвах различны, но связать их с какими-либо физическими характеристиками почв ранее не удавалось.

Целью нашей работы являлось измерение частотных и влажностных характеристик КДП искусственных смесей сферических кварцевых гранул с размерами от 15 до 200 мкм и бентонитовой глины в разных пропорциях для выявления возможной связи КДП «свободной» воды с гранулометрическим составом. Измерения производились с помощью векторного анализатора цепей в диапазоне частот от 30 МГц до 4 ГГц.

Исследовались частотные и влажностные зависимости КДП двенадцати образцов с различным гранулометрическим составом. Методом регрессионного анализа установлена связь КДП «свободной» воды, как параметра рефракционной модели КДП [2] с содержанием частиц различных размеров.

1. П. П. Бобров В. Л. Миронов, О. А. Ивченко, В. Н. Красноухова, Спектроскопическая модель диэлектрической проницаемости почв, использующая стандартизованные агрофизические показатели, Исследование Земли из космоса, №1, 15 (2008).

2. С. А. Комаров, В. Л. Миронов. Микроволновое зондирование почв. Новосибирск: Научно-издательский центр СО РАН, 289 (2000).

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

РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ, ОБЛАДАЮЩИХ ГИГАНТСКИМ МАГНЕТОСОПРОТИВЛЕНИЕМ

Е. В. Коротаев, А. Д. Федоренко, С. А. Короленко
Новосибирский государственный технический университет
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН

Слоистые дисульфиды хрома и меди ($\text{CuCr}_{1-x}\text{Me}_x\text{S}_2$, где Me - V, Fe) являются магнитными полупроводниками, обладающими гигантским магнетосопротивлением (ГМС), заключающимся в резком падении величины электросопротивления вещества при приложении к нему магнитного поля, и количественно оцениваемом следующим образом:

$$\delta_H = (\rho(H) - \rho(0))/\rho(H),$$

где $\rho(0)$ – удельное сопротивление вещества в отсутствии поля; $\rho(H)$ – удельное сопротивление вещества в магнитном поле.

ГМС этих веществ объясняют их пространственным строением: ромбоэдрическая решётка состоит из чередующихся октаэдров атомов серы с атомами хрома в центре и тетраэдров атомов серы с атомами меди в центре: такая структура, предположительно, по-разному рассеивает электроны различной спиновой ориентации при приложении внешнего магнитного поля, что снижает сопротивление для электронов, ориентированных по полю и способствует возрастанию их тока через материал.

Замещение атомов хрома $3d$ - переходными металлами, позволяет изменять электрические и магнитные свойства данных веществ.

Целью проводимых рентгеноспектральных исследований является изучение изменения электронного строения слоистых дисульфидов хрома и меди в зависимости от количества замещающего $3d$ - металла.

В настоящей работе проведено комплексное рентгеноспектральное исследование интеркалированных дисульфидов хрома и меди $\text{CuCr}_{1-x}\text{V}_x\text{S}_2$ ($x = 0 - 0,40$). Были получены рентгеновские эмиссионные K_α -спектры (переход $1s-2p$) серы, хрома, ванадия, меди, позволяющие судить об изменении зарядового состояния атомов, входящих в состав изучаемых сульфидов. Изучены рентгеновские $K_{\beta 1}$ -спектры (переход $1s-3p$) серы и хрома. Получены K -спектры поглощения атомов меди, показывающие характер распределения свободных электронных состояний в этих соединениях.

Данные рентгеноспектральных исследований дисульфидов хрома и меди сопоставлены с данными рентгеноэлектронных исследований.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Л. Н. Мазалов

ПЛАЗМЕННЫЕ ВОЛНЫ В ДВУСЛОЙНОМ ГРАФЕНЕ

Ю. А. Коротенко

Волгоградский государственный педагогический университет

В данной работе был теоретически исследован закон дисперсии плазменных волн $\omega(\vec{k})$ невырожденной бесстолкновительной электронной плазмы в двуслойном графене, помещённом в поперечное постоянное электрическое поле. Закон дисперсии электронов был выбран в виде:

$$\varepsilon(\vec{p}) = \sqrt{\Delta^2 + (v_F \vec{p})^2}, \quad (1)$$

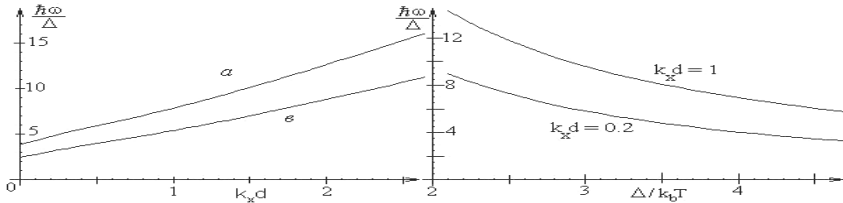
где Δ – полуширина запрещённой зоны; v_F – скорость Ферми (экспериментальное значение [1] $v_F \approx 10^6$ м/с). Ширина запрещённой зоны может регулироваться напряжённостью приложенного поля в интервале до 0.15 эВ. В приближении случайных фаз получено уравнение, определяющее дисперсионную зависимость $\omega(\vec{k})$

$$\frac{2\pi e^2}{k\chi} \Pi(\vec{k}, \omega) = 1$$

$$\Pi(\vec{k}, \omega) = \sum_{\vec{p}} (n_{\vec{p}+\hbar\vec{k}} - n_{\vec{p}}) / [\varepsilon(\vec{p} + \hbar\vec{k}) - \varepsilon(\vec{p}) - \hbar\omega] \quad (2)$$

где χ – диэлектрическая проницаемость решётки.

По результатам численного анализа (2) построены графики зависимости $\omega(\vec{k})$ при $d \approx 10^{-7}$ см, $T \approx 170$ К, а) $\Delta=0.05$ эВ, в) $\Delta=0.075$ эВ.



В результате исследования было установлено, что спектр плазменных колебаний, начиная с определённого значения волнового числа k_{xp} сливается с одночастичным спектром, который определяется законом сохранения энергии для процессов поглощения (излучения) плазмона электроном. Для случая (в) $k_{xp}d \approx 3.2$, $k_y d = 0.2$, $\omega \approx 1.6 \times 10^{15}$ с⁻¹.

1. K. S. Novoselov *et al.* Nature, 438, 197, (2005).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент С. Ю. Глазов

СПИНОВАЯ РЕЛАКСАЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В МАССИВАХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК Ge/Si С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ ЛОКАЛИЗАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА

А. С. Любин

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

Создание низкоразмерных наноструктур стимулировало исследование спиновой динамики в полупроводниках в последние два десятилетия. Недавние исследования показали, что с понижением размерности системы время спиновой релаксации увеличивается [1]. Наиболее длительное время спиновой релаксации ожидается в Ge/Si квантовых точках (КТ) из-за малости спин-орбитального взаимодействия в кремнии.

В данной работе методом ЭПР были исследованы структуры с Ge квантовыми точками различной формы (hut- и dome-кластеры). Различные напряжения в структурах ведут к различной степени локализации электронов в этих системах.

Для структур с hut-кластерами была обнаружена анизотропная зависимость ширины ЭПР-линии от направления магнитного поля. Наблюдаемую анизотропию ширины линии можно объяснить наличием эффективного магнитного поля, лежащим в плоскости роста структуры, возникающим вследствие нарушения симметрии квантовой точки. Данный эффект аналогичен эффекту Бычкова-Рашба, который заключается в появлении эффективного магнитного поля в двумерных структурах с отсутствием зеркальной симметрии относительно плоскости роста.

Угловая зависимость ширины ЭПР-линии для структур с dome-кластерами имеет более сложный вид с максимумом при $\theta = 60^\circ$ и минимумом при $\theta = 30^\circ$ (θ - угол между внешним магнитным полем и направлением [001]). При отклонении магнитного поля от оси роста эффект сжатия ослабевает, что приводит к делокализации волновых функций и сужению ЭПР-линии. Этот эффект обеспечивает минимум ширины ЭПР-линии при $\theta = 30^\circ$. Существование явно выраженного максимума при $\theta = 60^\circ$ может быть объяснено экспоненциальной зависимостью прыжковой проводимости от магнитного поля [2].

-
1. I. Žutić, J. Fabian, S. Das Sarma, Spintronics: fundamentals and applications, Rev. Mod. Phys. 76, 323 (2004).
 2. В. И. Шкловский, А. Л. Эфрос, Электронные свойства легированных полупроводников, М., Наука (1979).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. Ф. Зиновьева

ПРОЯВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМА СТРАНСКОГО-КРАСТАНОВА ПРИ РОСТЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК InAs НА ПОВЕРХНОСТИ GaAs МЕТОДОМ НАНОКАПЕЛЬНОЙ ЭПИТАКСИИ

А. А. Лямкина

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

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 (СК), но регулировать такой процесс сложно, поэтому в последнее время широкое распространение получила нанокпельная эпитаксия - метод, основанный на создании на поверхности центров зарождения в виде нанокпель металла.

В отсутствие мышьяка на поверхность арсенида галлия наносится индий, образующий массив металлических капель, после чего открывается источник мышьяка и идёт образование квантовых точек. Для исследования зависимости свойств точек от толщины слоя индия, был создан градиент потока, приводящий к различию по дозе индия примерно в два раза. Анализируя спектры фотолюминесценции, измеренные вдоль образца, можно исследовать изменения квантово-оптических свойств системы.

Спектры имеют сложный вид, с несколькими выраженными пиками, поэтому они были описаны суммой нескольких гауссианов. Анализ показал, что в спектрах имеются несколько характерных ширин пиков, одна из которых соответствует точкам на аналогичном образце, полученным методом СК. При увеличении количества индия спектр сдвигается в длинноволновую область и при некотором критическом значении наблюдается качественное изменение вида спектра. В нём появляются узкие пики, которые можно отнести к точкам, сформированным под действием дополнительной силы поверхностного натяжения капли и поэтому имеющим более узкое распределение по размерам. Таким образом, можно утверждать, что даже при использовании нанокпельной эпитаксии, часть точек всё равно формируется по механизму СК.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию Министерства науки и образования РФ в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы в 2009-2010 гг.» через грант «ЗН-312-09» НГУ.

Научный руководитель – С. П. Мощенко

КАЧЕСТВЕННАЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПЛЁНОК ГРАФИТА С ПОДСЛОЕМ ИЗ АЛЮМИНИЯ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОГО И АТОМНО- СИЛОВОГО МИКРОСКОПОВ

В. С. Медведева, Г. В. Шляхова, В. М. Бродский
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
Северская государственная технологическая академия

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) – один из мощных современных методов исследования морфологии и локальных свойств поверхности твёрдого тела с высоким пространственным разрешением. В настоящее время практически ни одно исследование в области физики поверхности и тонкоплёночных технологий не обходится без применения методов СЗМ.

Данная работа включала в себя три этапа:

1) Были проведены исследования плёнок графита с подслоем из алюминия, напылённых на стеклянную подложку, с помощью микроскопа отражённого света Neophot - 21. Выявлено, что плёнки содержат включения сферической формы. Размеры включений от 2 мкм до 5 мкм, их количество составляет около 2% от площади. Однако, представленная картина не позволила чётко определить характер найденной составляющей. Было предположено, что данная составляющая относится к числу дефектов плёнки (несплошностям) или включениям, лежащим на поверхности плёнки.

2) Для подтверждения предположений, полученных на первом этапе, проводились исследования на атомно- силовом микроскопе Solver PRO-47Н. Топография поверхности плёнок графита с подслоем из алюминия показала, что размер включений на поверхности плёнки составляет в среднем 0,88 мкм. Практически все частицы в плёнке располагаются в параллельных плоскостях, расположенных под углом примерно 50 градусов относительно оси ОХ. Высота включений составляет 60 нм, все частицы лежат на поверхности подложки. Поры не обнаружены.

3) На последнем этапе проводились измерения толщины плёнок. Исследования начинали от чистого стекла с плавным переходом на саму плёнку. Толщина плёнки графита с подслоем из алюминия составляет 0,4 мкм.

Данная работа предполагает возможность выявления расширенной области применения данных плёнок, например, для снятия реплик с помощью электронных микроскопов или в рентгеновских волноводах.

Научный руководитель - канд. техн. наук, Г.В. Шляхова

ОСОБЕННОСТИ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ И ГЕРМАНИЯ

А. В. Мозжерин
Сибирский федеральный университет

Полупроводниковые кремний и германий являются основными материалами современной полупроводниковой электроники, силовой электроники и солнечной энергетики. В развитых странах производство этих стратегических материалов, элементов и устройств на их основе является исключительно важной составной частью национальной экономики, и в значительной степени определяет уровень развития высокотехнологических отраслей промышленности, систем коммуникации и национальной безопасности.

В работе использовался метод просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Исследования проводились на ПЭМ JEOL 2100, в качестве образцов выступали монокристаллы кремния и германия. Образцы утончались для ПЭМ исследований методом травления ионами аргона с энергией 6 кэВ на установке Gatan Precision Ion Polishing System (PIPS). Предварительно с помощью установки Gatan Dimple Grinder осуществлялось прецизионное механическое утончение центральной части образца диаметром 3 мм, до толщины порядка 30 мкм.

Используя различные эффекты изменения контраста, можно определять векторы Бюргерса дислокаций. Так, например, при $\mathbf{g} \times \mathbf{b} = 0$ изображение дислокаций практически отсутствует, а при $\mathbf{g} \times \mathbf{b} = 1$ наблюдается сильный дифракционный контраст. В случае краевых и частичных дислокаций векторы Бюргерса можно определить, если по контрасту электронных микрофотографий, полученных в двухлучевом режиме, удастся найти величины $\mathbf{g} \times \mathbf{b}$, $\mathbf{g} \times \mathbf{b}_e$ и $(1/8)\mathbf{g} \times \mathbf{b} \times \mathbf{u}$. Здесь \mathbf{b}_e – краевая компонента вектора Бюргерса, а \mathbf{u} – единичный вектор, направленный вдоль дислокационной линии.

Обнаружено, что в кремнии, легированном фосфором и бором выше 10^{18} см^{-3} наблюдаются примесные выделения на дислокациях и дефектах упаковки размерами порядка 10-15 нм после термообработки кристаллов.

По результатам работы можно сделать вывод: структурные дефекты присутствуют во всех кристаллах кремния и германия с плотностью $10^5 - 10^6 \text{ см}^{-2}$, что значительно меньше, чем в других полупроводниковых материалах. Это позволяет использовать их в космическом приборостроении или создании особо точных механизмов (нанороботы, солнечная энергетика и др.).

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

ПРОВОДЯЩИЕ ОБОЛОЧКИ НА ОСНОВЕ УЗКОЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ InAs/GaSb И ГРАФЕНА

С. В. Мутилин

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

Развитие микро - и наноэлектроники вызывает потребность в трехмерных наноструктурах сложной геометрической формы с точно контролируемыми физическими свойствами. Целью работы является формирование оболочек узкозонных полупроводников и графена и исследование магнитотранспорта в них. Гигантское магнитосопротивление, связанное именно с кривизной объекта, не имеет аналогов в плоских структурах и может быть использовано, например, для прецизионного измерения величины магнитного поля, его градиента и направления [1]. Использование нелегированных узкозонных полупроводников на основе InAs/GaSb для получения ДЭГ в оболочках обусловлено, во-первых, малой эффективной массой электронов в потенциальной яме InAs, а во-вторых, обогащением на поверхности InAs [2]. На созданных изогнутых оболочках с радиусом кривизны ~ 10 мкм проведены магнитотранспортные измерения. По полученным осцилляциям Шубникова – де Гааза сделан вывод о наличии ДЭГ. Обнаружена асимметрия продольного магнитосопротивления в структурах. Рассчитаны концентрации и подвижности носителей заряда.

Использование графена привлекательно тем, что вблизи дираковской точки даже в отсутствии затворного напряжения или легирующей примеси существует конечное значение проводимости. Высокая подвижность, более $200000 \text{ см}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ при комнатной температуре, делает его весьма перспективным для создания графеновой наноэлектроники [3]. Для получения графена подобран полимер, улучшающий адгезионные свойства подложки по отношению к графиту. С его помощью сформированы отдельно расположенные от одного до нескольких монослоев графита на подложке Si, а также, впервые, графеновые оболочки гигантской амплитуды (отношение высоты к толщине оболочки ~ 100) с радиусом кривизны 50 нм.

-
1. A.V. Vorob'ev et al., Phys. Rev. B 75, 205309 (2007).
 2. V. Heine, Phys. Rev. A 138, 1689 (1965).
 3. S. Morozov, K. Novoselov, et al., Phys. Rev. Lett., 100, 016602 (2008).

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Я. Принц, канд. физ.-мат. наук А. Б. Воробьев

РАСЧЁТ УПРУГИХ ПОСТОЯННЫХ В ОКСИДАХ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

О. С. Оболонская

Кемеровский государственный университет

В последнее время число работ посвящённых изучению оксидов щелочных металлов постоянно растёт. Это связано с их широким практическим применением. В настоящей работе с помощью пакета CRYSTAL 06 [1] методами Хартри–Фока (HF) и теории функционала плотности (DFT), с использованием обменно-корреляционного потенциала в приближении локальной плотности (LDA) и обобщенного градиента (GGA, [2], PBE [3]), а также гибридными методами (20 % HF, 80% DFT) B3LYP [4] и B3PW [5] проведено вычисление упругих постоянных B , C_{44} , C_{11} и C_{12} соединений M_2O ($M = Li, Na, K$). Для кислорода и щелочных металлов применялись базисные наборы O_8-411d1, Li_6-11G, Na_8-511G и K_86-511G [6]. Расчёт упругих постоянных проводился путём вычислений второй производной полной энергии. Результаты показали, что данные, полученные при оптимизированном значении постоянной решётки, дают наименьшее отклонение от экспериментальных. Значения модуля упругого сжатия B находятся в пределах 75-90 ГПа для оксида лития, 57-62 ГПа для оксида натрия и 33-43 ГПа – для оксида калия, кроме метода LDA, который для всех соединений даёт завышенное значение. По нашим расчётам методом B3PW модуль упругого сжатия для Li_2O равен 86.5 ГПа (экспериментальное значение 89 ГПа). Для Na_2O и K_2O наилучшие значения B даёт метод GGA, 57.5 ГПа (57.79 ГПа [7]) и 38.4 ГПа (38.92 ГПа), соответственно.

1 R. Dovesi, V. R. Saunders, C. Roetti, R. Orlando, C. M. Zicovich – Wilson, F. Pascale, B. Civallezi, K. Doll, N.M. Herrison, I.J. Buch, Ph. D’Arco, M. Liunell, CRYSTAL 06 User’s Manual. Torino: University of Torino, (2006).

2. J.P. Perdew, Y. Wang, Phys. Rev., 45, 13244 (1992)

3. J.P. Perdew, K. Burke, M. Ernzerhof, Phys. Rev. Lett., 77, 3865 (1996).

4. S. H. Vosko, L. Wilk, and M. Nusair, “Accurate spin-dependent electron liquid correlation energies for local spin density calculations: a critical analysis”, Can. J. Phys. 58, 1200 (1980).

5. A. D. Becke, Chem. Phys. 98. 5648 (1993)

6. M. Moakafi, R. Khenata, A. Bouhemadou, H. Khachai, B. Amrani, D. Rached, M. Rerat, Eur. Phys. 64, 35 (2008).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ю.Н. Журавлёв

ИЗУЧЕНИЕ ДЕГРАДАЦИИ GaAs(Cs,O) ФОТОКАТОДОВ ПО ЭВОЛЮЦИИ СПЕКТРОВ ФОТОЭМИССИИ

И. В. Осинных

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

Полупроводниковые GaAs(Cs,O) фотокатоды с отрицательным электронным средством (ОЭС) широко используются в технике и в научных исследованиях в качестве эффективных источников электронов. Благодаря дипольному (Cs,O) слою, в ОЭС-фотокатоде уровень вакуума оказывается ниже дна зоны проводимости в объёме полупроводника, поэтому электроны, возбуждённые светом из валентной зоны в зону проводимости, могут с большой вероятностью эмитироваться в вакуум. Одна из проблем использования GaAs(Cs,O) фотокатодов заключается в деградации квантового выхода под действием атомов и молекул остаточных газов вакуумной камеры. Причина деградации может состоять в уменьшении величины эффективного отрицательного средства или в уменьшении вероятности туннелирования электронов через активирующее покрытие. Измерение спектров квантового выхода фотоэмиссии позволяет различить эти виды деградации.

В данной работе с помощью измерения эволюции формы спектров фотоэмиссии изучена деградация GaAs(Cs,O) фотокатодов в процессе перехода от отрицательного средства к положительному под действием кислорода. Изменение квантового выхода в процессе измерения спектра искажает его форму. Чтобы обойти эту проблему, использовалась интерполяционная методика обработки данных, позволяющая определить форму спектра фотоэмиссии в любой заданный момент времени. Аналогичная методика была апробирована ранее для спектроскопии фотоотражения. Установлено, что пока средство остаётся отрицательным, форма спектра не меняется, а порог фотоэмиссии находится при энергии фотонов $\hbar\omega$ вблизи ширины запрещённой зоны E_g , при этом величина квантового выхода уменьшается на порядок. После перехода к положительному средству в спектре наблюдаются два порога: первый при $\hbar\omega \approx E_g$ соответствует термостимулированной фотоэмиссии электронов, рождённых ниже уровня вакуума, а второй смещается в процессе деградации в сторону больших $\hbar\omega$ и соответствует фотоэмиссии электронов, рождённых выше уровня вакуума.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Л. Альперович,
аспирант А. Г. Журавлёв

ЭНЕРГИЯ АКТИВАЦИИ В ФОТОПРИЁМНЫХ СТРУКТУРАХ С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ НА ОСНОВЕ МЛЭ GaAs/AlGaAs.

А. В. Павлов

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

Многослойные структуры с квантовыми ямами GaAs/AlGaAs вследствие высокой однородности состава и низкой себестоимости изготовления фотоприёмников, делают перспективным создание полноформатных матричных фотоприёмных устройств ИК диапазоне спектра.

Целью данной работы является изучение процессов переноса носителей заряда в таких структурах, выращенных методом МЛЭ в ИФП СО РАН.

Для исследования были изготовлены три образца (№1, №2 и №3), выращенных методом МЛЭ, с одинаковым уровнем легирования кремнием в ямах, шириной квантовой ямы/барьера и содержанием алюминия в барьерах. Различие структур заключалось в отсутствии в одной из структур так называемого «стоп-слоя» из AlAs, выращиваемого для остановки травления подложки. Результаты исследования этих структур сравнивались с контрольным образцом (№4), выращенным методом МОСГФЭ и имеющим такие же размеры ям/барьеров и уровня легирования в ямах.

Для всех образцов были измерены температурные зависимости ВАХ темнового тока в диапазоне 77÷200К и построены полевые зависимости энергии активации (разница между высотой барьера и уровнем Ферми). Анализ энергии активации показал различие в поведении полевых зависимостей образцов №1-3, от образца №4. Для данного образца энергия активации слабо зависит от величины приложенного электрического поля, что хорошо согласуется с теоретическим ожиданием для данного диапазона полей, а образцы №1-3 имеют аномально сильную полевую зависимость энергии активации, которую нельзя объяснить в рамках классической теории.

Отличие полевой зависимости энергии активации образца №4 от образцов №1-3 может быть объяснено локальным изменением формы барьера, обусловленным заряженными неконтролируемыми глубокими уровнями в AlGaAs. Вероятно, данные глубокие центры появляются в процессе выращивания структур методом МЛЭ в результате облегчённой диффузии кремния из квантовых ям по дефектам роста в барьер.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Н. Овсяк, канд. физ.-мат. наук Д.Ю. Протасов

СОЗДАНИЕ УПРУГИХ ГРАФЕНОВЫХ ОБОЛОЧЕК

Д. А. Похабов

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

Графен представляет собой моноатомный слой графита и является полупроводником с нулевой шириной запрещённой зоны. Электроны в графене ведут себя как безмассовые фермионы, удовлетворяющие уравнению Дирака [1]. Это и другие уникальные свойства носителей, в частности, высокая подвижность, в графене делают его перспективным материалом для создания электронных приборов [1]. Проблемами развития графеновой наноэлектроники являются отсутствие технологии получения графеновых плёнок большой площади и методов контролируемого изменения ширины запрещённой зоны. Упругие деформации графеновых оболочек являются одним из перспективных методов контролируемого изменения электронных свойств графена, в частности, создания запрещённой зоны.

В работе [2] численные расчёты показывают, что асимметричное распределение деформаций в графене приводит к возникновению запрещённой зоны (до 0,486 эВ).

До сих пор самым простым способом получения графена является механическое отщепление графена от кристаллов высокоориентированного пиролитического графита липкой лентой. Недостатками метода являются наличие следов клея на подложке и неповторяемость результатов. В работе [3] показана возможность отсоединения графена от графита на подложку окисленного кремния электростатическими силами.

Работа посвящена развитию электростатического метода получения графена, формированию графеновых оболочек методами АСМ и созданию в них упругих деформаций электростатическими силами. На полученных электростатическим методом опытных образцах Si/SiO₂/графен (размер графеновых листов достигает 50мкм×100мкм) методами АСМ сформированы графеновые оболочки в виде отдельных гофрировок. Выполнены эксперименты по приложению упругих напряжений к оболочкам электростатическими силами.

-
1. K. S. Novoselov, A.K. Geim, S.V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S.V. Dubonos, I. V. Grigorieva, and A. A. Firsov, *Science* 306, 666 (2004).
 2. Gui Gui, Jin Li, Jianxin Zhong - *Phys Rev B* 78, 075435 (2008).
 3. Sidorov A. N. et al. - *Nanotechnology*– V. 18. – P. 135301 (2007).

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

СТРУКТУРНЫЕ ПОДРЕШЁТКИ В ОДНОЭЛЕМЕНТНЫХ КРИСТАЛЛАХ ТЕТРАГОНАЛЬНОЙ СИНГОНИИ

П. Е. Прохоров

Кемеровский государственный университет

На кафедре теоретической физики при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе “У.М.Н.И.К.” ведется разработка программного комплекса “SubFinder”, осуществляющего поиск подрешёток Бравэ разного типа в кристаллических соединениях произвольной сингонии. “SubFinder” позволяет выполнять поиск подрешёток в кристаллах в “пакетном” режиме, обрабатывая сразу большой массив записей из кристаллографических баз данных. Актуальной является задача “сплошного” анализа структурных подрешёток во всех кристаллах из базы данных ICSD (Inorganic Crystal Structure Database). Это позволит получить наиболее полный массив информации по подрешеткам в неорганических кристаллах. Данная задача разбита на ряд этапов: во-первых, последовательно осуществляется анализ групп одноэлементных, бинарных, тройных и более сложных кристаллов и, во-вторых, внутри каждой из этих групп рассматриваются разные сингонии.

В данной работе выполнен анализ одноэлементных кристаллов тетрагональной сингонии. Были исследованы подрешетки в 9 кристаллах: Pa, Ga, D₂, H₂, N₂, Ge, Cl₂, U, В. Среди рассматриваемых кристаллов были найдены кристаллы с различным типом подрешеток Бравэ: U (бета-уран), В. Кристалл урана имеет простую тетрагональную решетку (Γ_q), пространственная группа (ПГ) № 102 (C_{4v}^4). Элементарная ячейка является довольно сложной и содержит 30 атомов. Часть атомов можно объединить в более симметричную объёмноцентрированную тетрагональную решётку (Γ_q^v), пространственные периоды которой совпадают с кристаллическими. Кристалл бора имеет также решетку Γ_q , ПГ №134 (D_{4h}^{12}), в элементарной ячейке содержится 50 атомов, некоторые из которых объединяются в подрешётку Γ_q^v .

В дальнейшем планируется изучить проявление имеющейся в кристалле более высокой, “скрытой” симметрии в ряде их свойств, в частности, в спектрах элементарных возбуждений и особенностях химической связи.

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

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЁН ФОРМИРОВАНИЯ КАНАЛОВ НАНОСЕКУНДНОГО ИМПУЛЬСНОГО ПРОБОЯ ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ НАПРЯЖЕНИИ 140 кВ

И. Ф. Пунанов, А. С. Гилёв

Уральский государственный университет имени А.М.Горького
Институт электрофизики УрО РАН

В данной работе исследовался высоковольтный наносекундный пробой фторсодержащих диэлектрических жидкостей (ЖДФ). Выбранные жидкости представляют собой новый класс диэлектрических жидкостей, ранее не исследовавшихся.

Измерялось время формирования каналов пробоя во фторорганических диэлектрических жидкостях (ЖДФ-1...12) в зависимости от межэлектродного расстояния при воздействии высоковольтными импульсами амплитудой 140 кВ с фронтами порядка 0,5 наносекунды. Для этой цели использовался генератор с разрядом коаксиальной формирующей линии с электрической длиной 8 нс и импедансом 50 Ом. Пробой стартует с положительного игольчатого электрода в конфигурации электродов остриё–плоскость.

Исследование показало, что данные фторорганические диэлектрические жидкости имеют относительно высокую электрическую прочность (100-200 кВ/см). Зависимость времени задержки пробоя от межэлектродного расстояния практически для всех ЖДФ в интервале 0 - 3,5 мм имеет сходство с аналогичной зависимостью для глицерина, который традиционно используется в качестве изолятора в высоковольтных генераторах.

Учитывая тот факт, что полученные зависимости мало отличаются от аналогичных зависимостей для традиционных изоляторов, таких как глицерин, а так же высокие значения критической напряжённости поля, большую химическую устойчивость по сравнению с другими органическими жидкостями, можно утверждать, ЖДФ могут применяться в качестве изоляторов для высоковольтных генераторов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Р. В. Емлин

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ Si(111) ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНЫМИ ИОНАМИ МЕДИ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Д. И. Рогило

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

Одной из актуальных проблем физики поверхности является морфологическая неустойчивость поверхности в неравновесных условиях, сопровождающихся генерацией собственных точечных дефектов в объёме полупроводника, что может быть использовано, в частности, для различных нанотехнологических приложений. Для изучения этой проблемы часто используют облучение ускоренными ионами благородных газов [1]. Полученные в этой работе результаты показали, что в интервале температур 350-500°C вакансии первыми стекают на поверхность по сравнению с междоузельными атомами. В зависимости от того какой тип дефектов стекает на поверхность, наблюдается различная модификация сверхструктур на поверхности, существующих при низких и умеренных температурах. Однако в литературе совершенно отсутствуют данные о влиянии стока точечных дефектов на морфологию поверхности Si при повышенных (>830°C) температурах.

В данной работе для изучения атомных процессов при высоких температурах применяется метод *in situ* сверхвысоковакуумной отражательной электронной микроскопии (СВВ ОЭМ). Данный метод позволяет визуализировать такие элементы поверхности как дислокации, моноатомные ступени и двумерные островки при высоких температурах, вплоть до плавления. Для генерации точечных дефектов в объёме полупроводника разработан встраиваемый в колонну СВВ ОЭМ миниатюрный источник ускоренных ионов металла.

В докладе предполагается изложить первые результаты по наблюдению стока точечных дефектов, созданных облучением низкоэнергетичными ионами меди, на поверхность Si при высоких температурах и их влияния на кинетику движения атомных ступеней на поверхности Si(111). Полученные данные о структурных и морфологических трансформациях поверхности кремния рассматриваются в рамках теории БКФ (Бартон, Кабрера, Франк).

1. P. J. Bedrossian, M. J. Caturla, T. Diaz de la Rubia, Damage evolution and surface defect segregation in low-energy ion-implanted silicon, Appl. Phys. Lett. 70, 176 (1997).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Л. И. Федина

ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ СВОБОДНОГО ПРОБЕГА ПО ЭНЕРГИИ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ В p^+ -GaAs(Cs,O)

С. А. Рожков

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

В настоящее время полупроводниковые фотоэммитеры с отрицательным электронным средством на основе p^+ -GaAs(Cs,O) широко применяются в высокочувствительных фотоприёмниках, источниках спин-поляризованных и моноэнергетических электронов. Для оптимизации параметров фотоэммитеров требуются дополнительные данные о вероятности рассеяния электронов по импульсу и энергии, как вблизи поверхности GaAs, так и в его объёме. Эти данные можно получить из ЭРФ (энергетических распределений фотоэлектронов) [1].

Для измерения ЭРФ из p^+ -GaAs(Cs,O) используются специальные фотокатоды с различными толщинами активного слоя. Измеряя ЭРФ на фотокатодах с разной толщиной активного слоя, и сравнивая полученные результаты с расчетными кривыми можно получить сведения о вероятности рассеяния электронов по энергии в объёме полупроводника. Дополнительные данные можно получить путем измерения ЭРФ на фотокатоде с заданной толщиной активного слоя при его освещении как со стороны эмитирующей, так и с противоположной поверхности. ЭРФ измеряются методом задерживающего потенциала.

В работе представлены ЭРФ, измеренные на фотокатодах с различными толщинами активных слоев (30 - 400 нм) и концентрациями легирующей примеси (3×10^{18} - 1×10^{19} см⁻³). Измерения проведены при температурах 77 К и 293 К и энергиях возбуждающий фотонов в интервале 1.45 – 3.1 эВ. Полученные ЭРФ позволили в рамках простой модели оценить длину свободного пробега по энергии фотоэлектронов.

1. L. W. James, J. L. Moll, Transport properties of GaAs obtained from photoemission measurements Phys. Rev., 183, 740 (1969).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Терехов

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕНСОРОВ NO₂ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЁНОК WO₃, ЛЕГИРОВАННЫХ ПРИМЕСЬЮ ЗОЛОТА

Ф.В. Рудов

Томский государственный университет

С целью создания сенсоров следовых концентраций оксидов азота на основе тонких пленок WO₃ нами разработана технология получения плёнок методами реактивного магнетронного распыления металлической W мишени на постоянном токе (DCS) и ВЧ магнетронного распыления (RFS) оксидной WO₃ мишени. В данной работе выполнены исследования влияния легирования примесью золота, а также напыления на поверхность WO₃ дисперсных каталитических слоёв золота на электрические и газочувствительные характеристики сенсоров NO₂.

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 WO₃, WO₃:Au и Au\WO₃:Au.

Показано, что введение примеси золота в объём триоксида вольфрама приводит к появлению в плёнках фазы с пониженной стехиометрией (WO_{2,72}). В результате увеличивается концентрация вакансий кислорода в плёнках и, следовательно, снижается сопротивление сенсоров NO₂ в воздухе в рабочем режиме. Золото сегрегирует на поверхности микрокристаллов WO₃, образуя частицы размером 9 - 15 нм, которые служат катализатором адсорбции NO₂ и способствуют увеличению откликов сенсоров. Дальнейшее увеличение отклика достигается дополнительным напылением дисперсного каталитического золота. Температурные зависимости отклика на воздействие NO₂ для всех изученных образцов имеют вид кривых с максимумом, который обычно наблюдается при T= 150 - 370 °С. Временная зависимость проводимости после подачи газа имеет две стадии: быструю, связанную с адсорбцией NO₂ на поверхности WO₃ и медленную, обусловленную процессом диффузии молекул газа в объём полупроводника. Повышение рабочей температуры сенсоров до 300 – 350 °С позволяет снизить время отклика до 40 - 20 с, время восстановления – 40 - 50 с, при этом значения отклика уменьшаются, но остаются достаточно высокими (G₀/G₁ = 20 - 25 на 1.8 ppm NO₂). Концентрационные зависимости адсорбционного отклика на NO₂ являются сублинейными и успешно описываются в предположении о наличии в пленках WO₃ мостиков проводимости.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, с.н.с. Н. К. Максимова

ДИАГНОСТИКА И ПРЕПАРИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛ ДНК НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ (111)

Е.А. Сергеева

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

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) [1] – один из современных методов исследования локальных свойств поверхности твёрдого тела с высоким пространственным разрешением. Развитие сканирующей зондовой микроскопии послужило основой для совершенствования новых методов нанотехнологии. Одним из перспективных направлений развития технологических приёмов в наномасштабе являются методики препарирования и модификации нуклеиновых кислот. Например, атомно-силовая микроскопия может позволить решить задачи визуализации отдельных молекул ДНК и исследование их конформационного состояния в жидких средах и взаимодействие ДНК с белками.

В настоящей работе, с помощью метода атомно-силовой микроскопии, было проведено изучение плазмидных молекул ДНК на поверхностях кремния (111), слюды, пиролитического графита и GaAs.

Было показано, что высота молекулы ДНК на поверхности кремния (111) составляет величину порядка 0,4-0,5 нм, а на поверхности слюды 0,3-0,4 нм, хотя диаметр недеформированной молекулы ДНК, определённый рентгеноструктурным анализом, составляет всего 2 нм. Таким образом, наблюдалось «сплющивание» молекулы на поверхности. В работе [2] выдвигается предположение о том, что на изменение вертикальных размеров ДНК влияет параметр смачиваемости поверхности. Посредством локального изменения плотности электрического заряда на поверхности были созданы участки с различной плотностью молекул ДНК, что подтверждает существование эффективного отрицательного заряда молекулы ДНК.

-
1. В. Л. Миронов, Основы сканирующей зондовой микроскопии, учебник, Нижний Новгород, 114с. (2004).
 2. D. Klinov, DNA nanopositioning and alignment by electron-beam-induced surface chemical patterning, private communication, (2008).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, Д.В. Щеглов

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОПРОВОДИМОСТИ ТОНКИХ СЛОЁВ ГЭС КРТ

К. С. Сингуров

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

Гетероэпитаксиальные слои $Cd_xHg_{1-x}Te$ (ГЭС КРТ) активно используются для изготовления фоточувствительных структур, таких как фотодиоды и фотосопротивления для ИК диапазона. Меняя состав x ($Cd_xHg_{1-x}Te$ является полупроводником при $x > 0.16$, $T = 0$ К) можно добиться любой наперёд заданной ширины запрещённой зоны в диапазоне энергий от 0 до 1.6 эВ [1].

Зависимость чувствительности фотосопротивления от толщины слоя имеет следующий вид [2]:

$$\nu = \frac{A}{d} (1 - e^{-kd})$$

Данная функция имеет максимум при $d \rightarrow 0$. При уменьшении d чувствительность должна была бы падать из-за уменьшения количества поглощаемого света, но рост сопротивления образца и связанное с этим увеличение чувствительности превалируют [2]. С другой стороны при $d \rightarrow 0$ количество поглощаемого света мало и слой становится практически прозрачным. Таким образом, одной из целей работы является нахождение оптимальной толщины для высокой чувствительности. Также необходимо учесть изменение отношения сигнал/шум и сопротивления с изменением d . Слои КРТ с $d < 8$ мкм мало изучены, поэтому исследование свойств таких слоёв является актуальным.

Одной из характеристик слоёв КРТ является значения λ_{\max} и $\lambda_{1/2}$ (длина волны, которой соответствует падение фоточувствительности вдвое по отношению к максимуму) поэтому установление эмпирических зависимостей от d , x и температуры тоже является задачей работы.

В работе были измерены спектры пропускания, отражения и фотопроводимости слоев КРТ (с $x \sim 0,2-0,3$) толщиной 0,5-8 мкм при $T=300$ К и $T=77$ К. Построены зависимости λ_{\max} и $\lambda_{1/2}$ от d , x и температуры на основании экспериментальных и расчётных данных. Полученные зависимости необходимы для роста ГЭС КРТ с заданными свойствами.

1 Н. С. Барышев, Свойства и применение узкозонных полупроводников, Казань, Унипресс (2000).

2. С. М. Рывкин, Фотоэлектрические явления в полупроводниках, Москва, ГИФМЛ (1963).

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

ДВИЖЕНИЕ ИЗОГНУТЫХ СТУПЕНЕЙ НА АТОМНО-ЧИСТОЙ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ (111)

С. В. Ситников

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

Сообщается о кинетике движения изогнутых моноатомных ступеней на поверхности кремния (111) при сублимации и эпитаксиальном росте. Анализ процессов трансформации морфологии поверхности кремния проводился методом *in situ* сверхвысоковакуумной отражательной электронной микроскопии.

Образцы кремния размерами $10 \times 1,2 \times 0,3$ мм³ помещались в устройство плоского капилляра, позволяющего проводить независимый нагрев обеих подложек, разделённых диэлектрическими пластинами, пропусканием постоянного или переменного электрического тока. На поверхности исследуемого образца вытравливалась лунка глубиной 5-20 мкм пучком низкоэнергетичных ионов аргона (4 КэВ), падающего на поверхности в интервал углов $4-10^\circ$. После термического отжига внутри лунки наблюдались концентрические ступени. При повышенных температурах измерено среднее расстояние между эшелонами в зависимости от температуры образца и величины потока атомов кремния на поверхность с буферного источника.

Проведён сравнительный анализ кинетики движения прямолинейной и изогнутой моноатомных ступеней расположенных внутри лунки при различных направлениях нагревающего электрического тока в температурном интервале $900-1300^\circ\text{C}$. Полученные результаты обсуждаются в рамках современных теорий электромиграции и диффузии атомов на поверхности.

Научный руководитель – чл.-корр. РАН А. В. Латышев

ДИНАМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ИОННЫХ КРИСТАЛЛАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

С. А. Степанов

Томский политехнический университет

Специфика воздействия импульсного электронного пучка (ИЭП) заключается в высокой скорости ввода энергии и заряда одновременно, вследствие чего в облучаемом образце возникают динамические механические напряжения разной природы. Считалось, что основной причиной их возникновения является импульсный нагрев материала вследствие термализации неравновесных электронов и дырок. Релаксация динамических напряжений проявляется в генерации акустического излучения (АИ), возбуждении изгибных волн и пластической деформации [1-3]. Вторым по эффективности каналом диссипации энергии ИЭП является выделение энергии, запасаемой в электрическом поле инжектированного заряда. С ростом плотности тока резко неоднородное выделение энергии с созданием динамических механических напряжений в диэлектриках и полупроводниках возможно при развитии многоканального электрического пробоя [4].

Одним из высокоинформативных методов исследования диссипативных процессов при воздействии на диэлектрики и полупроводники мощных ИЭП является изучение параметров акустического излучения, сопровождающего это воздействие.

В работе приводятся результаты математического эксперимента по расчету профиля поглощенной энергии и динамики формирования акустического импульса в ионных кристаллах при варьировании плотности тока ИЭП ($t_{\text{имп.}}=24$ нс, $E=0.28$ МэВ) и геометрии облучения. Полученные закономерности формирования профиля АИ проанализированы с учетом эффекта торможения электронов в поле объемного заряда.

-
1. R.M. White. J.Appl. Phys. 34, 2123 (1963).
 2. F.C. Perry. Appl. Phys. Lett.17, 408 (1970)
 3. R.B. Oswald, J.F.B. McLean, Schallhorn D.R., Buxton L.D. J.Appl. Phys. 42, 3463 (1971)
 4. В.И. Олешко, В.Ф. Штанько. ФТТ, 29, 320 (1987)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. Ф. Штанько

НАКОПЛЕНИЕ ЗАРЯДА В ПРИАНОДНОЙ ОБЛАСТИ ИОННЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Д. А. Сырков

Санкт-Петербургский государственный горный институт
(технический университет)

Для достижения больших усилий притяжения между соединяемыми деталями при получении электроадгезионных соединений можно использовать миграционную поляризацию. Миграционная поляризация заключается в том, что под действием сил электростатического поля свободные заряды в диэлектрике дрейфуют к соответствующему электроду. В случае ионного диэлектрика носителями заряда являются обычно положительные ионы, поэтому при включении напряжения они начнут перемещаться (мигрировать) к катоду. При этом в месте, занимавшемся положительным ионом до подачи напряжения, у анода останется нескомпенсированный отрицательный заряд вакансий. Таким образом, у анода скапливается отрицательный заряд. Известно [1], что наличие двойного электрического слоя тесно связано с адгезионными явлениями. В рассматриваемом случае возникает аномально большая сила притяжения анода к диэлектрику, которая при благоприятствующих условиях может привести к «склеиванию» его с диэлектриком.

В настоящей работе предложена физико-математическая модель соединения ионный диэлектрик - проводник (полупроводник). В качестве входных параметров используются характеристики технологического режима (напряжение, температура, время выдержки, шероховатость поверхностей) и характеристики диэлектрика (химический состав, диэлектрическая проницаемость, плотность и др.). Расчетным параметром является давление электростатических сил. В модели учитывается накопление заряда в прианодной области и сложный профиль контакта, обусловленный шероховатостью соединяемых поверхностей. Расчетное значение пондеромоторного давления может достигать десятков МПа, а расчетные кривые давления в зависимости от указанных характеристик хорошо коррелируют с экспериментальными данными по прочности полученных соединений [2].

1. Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, В. П. Смилга, Адгезия твердых тел, Наука, 280 (1973)

2. Н. С. Пщелко, Поляризация приповерхностных слоев диэлектриков на границе электроадгезионного контакта с проводником, Цветные металлы, 9, 44 (2005).

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Н. С. Пщелко

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРНОСТИ СЛОЁВ Ga(Al)N НА ИХ СТРУКТУРНЫЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

А. В. Тихонов

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

Нитриды элементов III группы представляют собой прямозонные полупроводники, ширина запрещенной зоны которых изменяется от 0.7 эВ для InN до 3,4 эВ для GaN и 6,2 эВ для AlN, покрывая диапазон длин волн от инфракрасного до ультрафиолетового. Высокая термическая и радиационная стойкость, высокие значения пробивных полей, ярко выраженные поляризационные эффекты делают эти материалы наиболее перспективными для разработки новых типов оптоэлектронных устройств, а также мощных высокотемпературных СВЧ – приборов. На сегодняшний день наиболее доступной и широко используемой подложкой для эпитаксиального роста III-нитридов является подложка из сапфира ориентации (0001), которая не обладает свойством полярности. При этом растущие слои III-N соединений на подложке Al₂O₃ (0001) являются полярными. Известно, что полярность непосредственно обуславливает фактически все свойства III-N слоёв. Целью работы являлось изучение условий зарождения полярности III-N слоёв и влияния полярности растущих слоёв на их структурные и электрофизические свойства.

В данной работе эпитаксиальные слои и гетероструктуры в системе III-N выращивались методом МЛЭ на установке Riber 32P. В качестве источника активного азота использовался поток очищенного аммиака, источниками металлов служили стандартные эффузионные ячейки. В эксперименте использовались сапфировые подложки ориентации (0001).

Формирование полярности осуществлялось на стадии зарождения, состоящей из нитридизации подложки и роста слоя низкотемпературного AlN в условиях обогащения по Al в случае Ga – полярности и обогащения по азоту в случае N - полярности. Обнаружена значительная разница в спектрах фотолуминесценции, измеренных на образцах GaN различной полярности. Методом атомно-силовой микроскопии продемонстрировано, что поверхность с Ga – полярностью может быть приготовлена со среднеквадратичной шероховатостью $r_{ms} < 2$ нм, тогда как для поверхности с N-полярностью $r_{ms} > 8$ нм. Слои с Ga-полярностью являются непроводящими, при этом слои с N-полярностью являются проводящими n-типа с концентрацией носителей заряда 10^{18} см⁻³.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент О. Е. Терещенко

ВЫСОКОТОЧНАЯ САМОСБОРКА НАНОПЛЁНОЧНЫХ ПОЛОСОК В ЖИДКОЙ СРЕДЕ

Р. Д. Токмашев

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

Самосборка является очень перспективным методом в нанотехнологии. Ключевой проблемой в этой области является получение путём самосборки прецизионных сложных структур заданной архитектуры.

В лаборатории трёхмерных наноструктур ИФП СО РАН был обнаружен новый процесс прецизионной самосборки. На подложке формируются металлические наноплёночные полоски методом взрывной литографии и напыления в вакууме. При травлении жертвенного слоя в специальном растворе полоски отделяются от подложки. Далее происходит самосборка: полоски точно стыкуются друг с другом и формируют строго упорядоченные массивы (рис. 1). Число полосок в массиве достигает 1000 штук. Главная особенность этой самосборки заключается в том, что форма элементов задаётся литографически. Следует также отметить, что полоски собираются в единый массив с очень большой площади (до одного мм²).

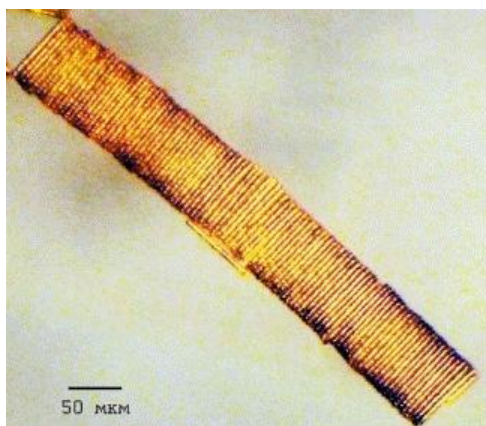


Рис. 1. Результат самосборки полосок в единый массив.

Механизм этого явления до сих пор не изучен. Работа посвящена выявлению закономерностей обнаруженного процесса самосборки.

Научные руководители – Е. В. Наумова, д-р физ.-мат. наук, проф.
В. Я. Принц

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛОВ Si С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ Ge

Н. А. Горопов, А. М. Турапин
Томский государственный университет

В настоящее время оптоэлектроника переживает бурное развитие и основными объектами исследований в этой области становятся сложные гетероструктуры с наноразмерными включениями – квантовыми ямами, нитями и точками, которые являются наиболее перспективными для создания фотопреобразователей и фотодетекторов.

В данной работе проводится анализ теоретических и экспериментальных результатов, представленных в литературе по исследованию спектральных характеристик Si с квантовыми точками Ge. Проявление интереса к ним связано, во-первых, с тем, что в этой гетеросистеме удается достичь малых размеров nanoостровков (≈ 10 нм) и их высокой плотности в массиве ($> 10^{11}$ см $^{-2}$). Во-вторых, наноструктуры Ge/Si совместимы с высоко развитой кремниевой технологией.

Согласно теоретическим расчётам, максимальный коэффициент преобразования солнечной энергии для Si/Ge достигает 63%. Выбор квантовых точек среди других квантово-размерных структур также обусловлен снятием ограничений, накладываемых поляризационным правилом отбора, а также “атомоподобным” поведением самих точек.

Наногетероструктуры Ge/Si получены методом молекулярно-лучевой эпитаксии в режиме роста Странского-Крастанова (1985). Данный механизм роста применим для полупроводников, рассогласованных по постоянной кристаллической решётки. При этом наблюдаются эффекты самоорганизации, обусловленные упругими напряжениями.

Проведены измерения квантовой эффективности и коэффициента поглощения данных гетероструктур системы материалов Ge/Si для образцов с различным числом слоёв квантовых точек (50, 100 и при их отсутствии), различной толщиной спейсерного слоя (10, 39, 100 нм).

По полученным данным можно сделать вывод, что внедрение квантовых точек в объёмную матрицу Si позволяет продлить спектральный отклик с 1,24 мкм до 1,52 мкм. При увеличении числа слоёв коэффициент поглощения так же возрастает. При этом максимальное значение квантовой эффективности выявлено для толщины спейсерного слоя 39 нм, что объясняется наибольшим вертикальным согласованием между nanoостровками Ge. Проведённый анализ также позволяет сделать вывод о высокой степени согласования экспериментальных результатов с теоретически рассчитанными.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. П. Коханенко

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ В ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЯЧЕЙКЕ СТРУКТУРЫ ТИПА АЛМАЗА

В. А. Улбутова

Волгоградский государственный технический университет

Задача о построении кристаллического потенциала является важной частью исследования в области электронной спектроскопии и микролитографии. Её решение позволит получить более точные картины зонной структуры металлов, которые необходимы при нахождении сечений рассеяния быстрых электронов для моделирования поведения пучка частиц в твердых мишенях.

Конструирование потенциала, используемого при расчётах зонной структуры твёрдых тел представляет собой сложную многочастичную задачу, в которой нужно учесть все ядра и электроны всех атомов кристалла. Эта задача может быть решена методом функционала плотности Кона-Шэма [1,2] и использована при расчете *ab initio* зонной структуры в основном состоянии. Кристаллический потенциал отличается от потенциала отдельного атома вследствие наложения потенциалов соседних атомных остатков и обменно-корреляционного взаимодействия валентных электронов [4]. Этот потенциал будет определять также взаимодействие «внешнего» быстрого электрона с твёрдым телом, если такой электрон появляется в веществе в результате поглощения рентгеновского кванта или при бомбардировке пучком ускоренных электронов.

Сечение упругого рассеяния быстрых электронов с энергией много большей среднего ионизационного потенциала атома $\approx 13,5Z$ эВ в конденсированном веществе обычно вычисляется в предположении, что потенциал атомов кристаллической решетки можно заменить потенциалом одного атома [3]. Однако для энергий порядка и меньших среднего потенциала ионизации необходимо учитывать кристаллический потенциал. Целью настоящей работы является вычисление кристаллического потенциала для задачи о рассеянии электронов с энергиями от единиц до сотен электрон-вольт.

-
1. W. Kohn, L. J. Sham. Phys. Rev. A, 140, 1133 (1965)
 2. R. O. Jones, O. Gunnarsson, Rev. Mod. Phys, 61, 689 (1989)
 3. M. Dapor, Elastic scattering calculations for electrons and positrons in solid targets, J.Appl.Phys, 79, 11, 3 (1996)
 4. Н. Ашкрофт, Н. Мермин, Физика твердого тела: учеб, 2, М.Наука, 392 (1979)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. А. Смоляр

ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ С УЧАСТИЕМ БЫСТРОДИФФУНДИРУЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ В КРЕМНИИ

А. Худойкулов

Самаркандский государственный университет

Целью настоящей работы является проверка возможности образования электронейтральных химически связанных комплексов серы с другими быстродиффундирующими примесями в кремнии (Ni и Co), а также определение технологических условий, при которых происходит эффективное комплексообразование. Объектом исследования был кремний, диффузионно легированный серой при 1250 °С в течение 100 ч. Исходным материалом служил Si марки КДБ -10. Были получены перекомпенсированные образцы Si<B,S> с удельным сопротивлением $\rho \approx 10 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Затем образцы Si<B,S> дополнительно легировали Ni и Co путём диффузионного отжига в интервале температур 1100-1250 °С. Для учёта влияния повторного отжига и сравнения электрических параметров в каждом случае отжигали также контрольные образцы Si<B,S>, Si<B,Ni> и Si<B,Co>.

Установлено, что параметры образцов Si<B,S,Ni> и Si<B,S,Co>, независимо от температуры отжига, сравнимы с параметрами контрольных образцов Si<B,S>. При этом по мере понижения температуры отжига удельное сопротивление перекомпенсированных образцов Si<B,S,Ni>, Si<B,S,Co> и Si<B,S> повышается из-за частичного распада твёрдого раствора в системе Si-S. У образцов Si<B,Ni> и Si<B,Co> по мере повышения температуры отжига наблюдается повышение ρ и последующая перекомпенсация при $t > 1200 \text{ °С}$ на n-тип проводимости. Эти результаты свидетельствуют о преимущественно донорной природе как кобальта, так и никеля в кремнии. Однако концентрации электроактивных атомов кобальта и никеля в кремнии значительно ниже концентрации серы. Для выяснения этого вопроса образцы Si<B,S,Ni>, Si<B,S,Co>, а также контрольные образцы Si<B,S>, подвергали последующими отжигу в интервале 800-1000 °С в течение 1 ч. Для удобства сравнения отжигали образцы кремния, последовательно легированные серой при 1200 °С и Ni и Co при 1250 °С. Выбор температуры легирования Ni и Co продиктован тем, что при данной температуре их растворимость сравнима с растворимостью серы при 1200 °С. Таким образом, в кристаллах кремния, в процессе термообработки при 800-1000 °С обнаружена нейтрализация электроактивных примесных центров.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Т. У. Тошбоев

О НОВОМ МЕТОДЕ ОБЪЁМНОГО ГЕТТЕРИРОВАНИЯ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ В КРЕМНИИ

А. Худойкулов

Самаркандский государственный университет

Настоящая работа посвящена исследованию некоторых особенностей межпримесного взаимодействия серы с быстро диффундирующими примесями (БДП) никелем и кобальтом в кремнии, с целью разработки высокоэффективных способов геттерирования вышеописанных БДП по всему объёму кремния.

С этой целью была исследована партия образцов кремния, легированных серой при 1250 °С. В качестве исходного материала использовали монокристаллического кремния марки КДБ-10 ($\rho \approx 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$), размерами $8 \times 3 \times 1 \text{ мм}^3$. После чего эти образцы дополнительно легировались никелем и кобальтом в интервале температур 100-1250 °С с шагом 50 °С. Для сравнения в каждом случае отжигались также контрольные образцы $\text{Si}\langle\text{B},\text{S}\rangle$, $\text{Si}\langle\text{B},\text{Ni}\rangle$ и $\text{Si}\langle\text{B},\text{Co}\rangle$.

Результаты исследований параметров полученных образцов показали, что параметры образцов $\text{Si}\langle\text{B},\text{S},\text{Ni}\rangle$ и $\text{Si}\langle\text{B},\text{S},\text{Co}\rangle$ независимо от температуры легирования сравнимыми параметрами образцов $\text{Si}\langle\text{B},\text{S}\rangle$. Эти результаты свидетельствовали об отсутствии межпримесного взаимодействия серы с никелем и кобальтом при температуре 1250 °С подвергались к последующему отжигу в интервале температур 400-1000 °С.

Результаты исследований показали, что при температурах отжига $T \geq 500 \text{ °С}$ примесные атомы серы и никеля, а также серы и кобальта в кремнии начинают образовывать электронейтральные химически связанные комплексы, вследствие чего по мере роста длительности отжига параметры образцов $\text{Si}\langle\text{B},\text{S},\text{Ni}\rangle$ и $\text{Si}\langle\text{B},\text{S},\text{Co}\rangle$ приобретали параметры исходного материала. Хотя при данных температурах отжига параметры контрольных образцов $\text{Si}\langle\text{B},\text{S}\rangle$ практически не изменились.

В работе на основе анализа полученных результатов уточнены условия, при которых в объёме кремния имеет место наиболее эффективное геттерирование как никеля, так и кобальта.

1. М. К. Бахадырханов, Ш. И. Аскарлов, Н. Норкулов, Некоторые особенности взаимодействия примесных центров с глубокими донорными уровнями в кремнии, ФТП, т. 21, 1456 (1987).

Научный руководитель: канд. физ. мат. наук, доцент Т. У. Тошбоев

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АРСЕНИД ГАЛЛИЕВЫХ ПТШ И ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ

А. К. Шестаков

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

Мощные арсенид галлиевые транзисторы СВЧ диапазона широко используются в продукции гражданского применения (коммерческая микроволновая связь, спутниковое и кабельное телевидение и т. д.), а также при разработке новейших видов военной техники на базе фазированных антенных решеток.

Дальнейшее совершенствование полевых арсенид галлиевых транзисторов ведётся различными путями. Разрабатываются новые, а так же модернизируются уже существующие конструкции гетероструктур и транзисторов. Это позволяет улучшить параметры гетероструктур (подвижность носителей заряда в канале) и характеристики самих транзисторов (теплоотвод, пробивное напряжение, ток насыщения). Всё это в совокупности позволяет повысить мощность, рабочую частоту, коэффициент усиления и КПД транзисторов.

В рамках данной работы решалась задача оптимизации параметров простых структур с однородно легированным GaAs каналом для транзисторов типа ПТШ, а так же гетероструктур с нелегированным или слабо легированным слоем AlGaAs, выращенным поверх GaAs канала и гетероструктур с InGaAs каналом для гетероструктурных полевых транзисторов, потенциал совершенствования которых ещё не исчерпан [1].

В данной работе для проведения расчётов был использован пакет программно-технологического моделирования Sentaurus TCAD, разработанный фирмой Synopsys. Расчёт производился при помощи двумерной гидродинамической модели, учитывающей явления лавинной генерации и рекомбинации носителей заряда и зависимость их подвижности от напряжённости электрического поля, концентрации примеси и рассеяния на границах.

1. К. С. Журавлев, А. И. Торопов, Т. С. Шамирзаев, А. К. Бакаров, Ю. Н. Раков, Ю. Б. Мякишев, Применение высокочистых слоёв $Al_xGa_{1-x}As$ в эпитаксиальных структурах для мощных полевых СВЧ транзисторов, Письма в ЖТФ, 25, 8 (1999)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук К. С. Журавлев

ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ДОМЕННЫХ СТРУКТУР, СФОРМИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ В ПЛАНАРНОМ ВОЛНОВОДЕ $\text{LiNbO}_3:\text{Ti}$

М. В. Бородин, В. В. Щербина

Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

Представлены результаты исследований оптическими методами периодических доменных структур (ПДС), полученных электронно-лучевой литографией в планарном оптическом волноводе $\text{LiNbO}_3:\text{Ti}$. Волноводы формировались напылением титана на Y -срез подложки с последующей диффузией при температуре около 1050°C . Они обеспечивали распространение вдоль оси x кристалла ТЕ-мод, от двух на длине волны $\lambda=1064$ нм до пяти при $\lambda=526.5$ нм. Для ввода и вывода лазерного излучения с $\lambda=526.5, 532, 633, 1053$ и 1064 нм использовались призмы из рутила. Из измерений эффективных показателей преломления было получено, что для генерации второй гармоники (ГВГ) при накачке с $\lambda=1053$ нм и взаимодействии $\text{TE}_1+\text{TE}_1\rightarrow\text{TE}_1$ в режиме фазового квазисинхронизма необходима доменная структура с периодом 7 мкм. Методом прямого экспонирования в одном из волноводов было сформировано 15 ПДС, идентичных по периоду (7.0 мкм) и по поперечным размерам (700×700 мкм²). Они располагались вдоль оси x в два ряда, в одном из которых движение электронного луча при синтезе происходило в направлении $+z$, в другом – в направлении $-z$.

Установлено, что оптическая однородность структур определяется направлением движения электронного луча при их синтезе. Максимальная эффективность ГВГ, составляющая 8.8% , была получена для процесса $\text{TE}_1+\text{TE}_1\rightarrow\text{TE}_3$ при накачке лазерными импульсами с длительностью 10 нс и $\lambda=1053$ нм в ПДС с высокой однородностью, однако эти структуры очень слабо визуализировать при ГВГ. Напротив, при малой эффективности ГВГ на структурах с плохой однородностью они хорошо визуализируются как при ГВГ, так и при распространении вдоль данного ряда ПДС волноводных пучков с низкой интенсивностью. Кроме того, на данных структурах наблюдалась ГВГ по механизму Вавилова-Черенкова.

Из расчетов интегралов перекрытия показано, что наблюдаемый максимум эффективности для процесса ГВГ $\text{TE}_1+\text{TE}_1\rightarrow\text{TE}_3$ связан с формированием ПДС в волноводах $\text{LiNbO}_3:\text{Ti}$ на глубине ~ 10 мкм.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 08-02-99023-р-офи) и программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)». Авторы благодарят Л.С. Коханчик за изготовление ПДС.

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

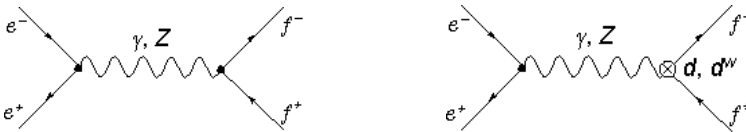
ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И СЛАБЫЕ ДИПОЛЬНЫЕ МОМЕНТЫ ФЕРМИОНОВ

А. Е. Блинов, А. С. Руденко

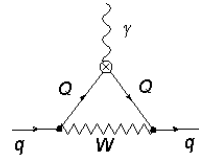
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Наличие у элементарных частиц электрического дипольного момента (ЭДМ) d и слабого дипольного момента (СДМ) d^w означало бы нарушение CP -чётности, поэтому в Стандартной Модели ожидаемые величины d и d^w чрезвычайно малы, и таким образом экспериментальное обнаружение дипольных моментов свидетельствовало бы о существовании Физики за пределами Стандартной Модели.



Ограничения на d и d^w можно получить из e^+e^- аннигиляции в пару фермионов. Наличие дипольных моментов у конечных фермионов вносит дополнительный вклад в сечение этой реакции. Из экспериментальных данных LEP-II для полных сечений реакций $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$ и $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$ в области энергий $2E \approx 200$ ГэВ следуют верхние границы для ЭДМ и СДМ τ -лептона, c - и b -кварка на уровне $10^{-16} - 10^{-17}$ е·см.

Верхние пределы для ЭДМ тяжёлых кварков Q можно также получить, используя экспериментальное ограничение на ЭДМ нейтрона $d_n/e < 3 \times 10^{-26}$ см. Вклад ЭДМ кварка Q в ЭДМ лёгкого кварка q :



$$\Delta d_q = \frac{\alpha}{16\pi \sin^2 \theta_w} |V_{Oq}|^2 \frac{m_q m_Q}{m_w^2} \left(\ln \frac{\Lambda^2}{m_Q^2} - 2 \right) d_Q, \quad \text{если}$$

$$Q = c, q = d \quad \text{или} \quad Q = b, q = u;$$

$$\Delta d_q = \frac{\alpha}{16\pi \sin^2 \theta_w} |V_{Oq}|^2 \frac{m_q m_Q}{m_w^2} \left(\ln \frac{\Lambda^2}{m_Q^2} - 2 \right) d_Q, \quad \text{если } Q = t, q = d.$$

$$\text{Полагая } \left(\ln \frac{\Lambda^2}{m_w^2} - 2 \right) \square 1, \quad \left(\ln \frac{\Lambda^2}{m_t^2} - 2 \right) \square 1, \quad d_{u,d} \square d_n, \quad \text{получаем}$$

$$d_c/e < 10^{-15}, \quad d_b/e < 2 \times 10^{-12}, \quad d_t/e < 5 \times 10^{-15}.$$

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

СИСТЕМА ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ И ИМПУЛЬСА ЭЛЕКТРОНОВ ВЫВЕДЕННОГО ПУЧКА ВЭПП-4М

А. А. Бороденко

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

При создании детекторов для исследований по физике элементарных частиц и астрофизике (BABAR, PLANK, ATLAS, SuperBABAR, BELLE) возникает потребность калибровки подсистем детектора на пучках заряженных частиц с известным импульсом. Калибровка необходима для оптимизации и настройки электроники и проверки соответствия расчётных и реально получаемых параметров системы.

Для этих целей в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера на ускорителе ВЭПП-4М создаётся выведенный пучок электронов с импульсом от 100 до 3000 МэВ и инфраструктура для проведения измерений с ним. Импульс электронов определяется по известному магнитному отклонению, которое, в свою очередь, вычисляется по координатным измерениям системы семи дрейфовых камер.

На предварительном этапе работы по оптимальному импульсному разрешению и расчёту влияния вещества камер на это разрешение было оценено достаточное координатное разрешение дрейфовых камер. Соответственно этому выбран тип камер с распределённым потенциалом катода и горячей газовой смесью, что позволяет определять координату по времени дрейфа в связи с независимостью скорости дрейфа от точки ионизации. При помощи пакета GARFIELD проведён расчёт полей и выбрана рабочая газовая смесь Ar/CO_2 (90/10). Написана программа и проведена оптимизация потенциалов проволочек дрейфовой камеры для достижения максимальной однородности электрического поля в ячейке.

В настоящее время завершено конструирование камер, происходит их производство. На основе оптимизированных потенциалов проволочек изготовлены высоковольтные делители. Спроектирована и изготовлена электроника камер: предусилители, высокочастотные кабели, ТА-блоки и ВЦП, выполненные в стандарте КАМАК.

В дальнейшем планируется сборка, калибровка и запуск камер на пучке, а также написание программ управления, калибровки и восстановления импульса электронов выведенного пучка. Ведётся более детальное моделирование системы с использованием пакета GEANT 4.

После завершения этой работы появится уникальная возможность проведения измерений на пучке электронов с точностью измерения координаты полёта 100 мкм и разрешением по импульсу $dp/p=0,001$.

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

РЕКОНСТРУКЦИЯ БЛИЗКОЛЕЖАЩИХ ФОТОНОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ КАЛОРИМЕТРЕ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО КРИПТОНА

К. В. Василевский

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

В настоящее время в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН проводится серия экспериментов по физике элементарных частиц с детектором КЕДР на ускорителе ВЭПП-4М. Целью экспериментов является изучение свойств состояний чармония, прецизионное измерение масс, поиск узких резонансов и измерение R в диапазоне от 2 до 10 ГэВ в системе центра инерции.

Одним из каналов распада мезонов, содержащих c -кварк, являются радиационные переходы (например, $J/\psi \rightarrow \eta_c + \gamma$, $\psi' \rightarrow \chi_{c0,1,2} + \gamma$), при этом испускается фотон с энергией 50-500 МэВ . Фотоны также появляются при распадах π^0 и η -мезонов, присутствующих во многих модах распадов более тяжёлых частиц. Важную роль в изучении данных процессов играет калориметр на основе жидкого криптона, помимо измерения энергии позволяющий за счёт своей хорошо сегментированной структуры определять ещё и координаты ливнеобразующих частиц (электронов и фотонов) с точностью порядка одного миллиметра.

Восстановление фотонов на основе информации, получаемой от электромагнитного калориметра, является важнейшей задачей программы реконструкции детектора КЕДР. Для решения этой задачи вначале необходимо выяснить из компьютерного моделирования критерии различия событий с одним и двумя фотонами, вылетевшими из центра. Далее, на основании полученных критериев, нужно разработать эффективный алгоритм реконструкции такого рода событий и создать соответствующий программный продукт.

Целью настоящей работы является алгоритм разделения близколежащих фотонов в процессе реконструкции события. На данный момент из моделирования установлены отличия картины события с одним фотоном от события с двумя фотонами, попавшими в соседние области, и создана функция, разделяющая события этих типов. Также реализована функция, определяющая направление вылета одиночного фотона.

1. В. М. Аульченко, Е. М. Балдин, А. К. Барладян и др. Пространственное разрешение калориметра на жидком криптона детектора КЕДР. Препринт ИЯФ 2004-29. Новосибирск 2004.

Научный руководитель – Е. М. Балдин

УЧЁТ СМЕШИВАНИЯ D МЕЗОНОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СКМ-ФАЗЫ γ ИЗ РАСПАДА $B^+ \rightarrow DK^+$

В. С. Воробьёв

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

За смешивание кварков в слабых взаимодействиях отвечает матрица Кабиббо-Кобаяши-Маскавы (СКМ). Значения элементов этой матрицы не предсказываются в рамках стандартной модели. Определение элементов матрицы СКМ является актуальной задачей физики элементарных частиц. Это важно для проверки согласованности стандартной модели, а также для поиска новой физики. В частности, матрица СКМ позволяет естественным образом включить в стандартную модель CP-нарушение [1].

Матрица СКМ унитарна. Одно из условий унитарности можно проиллюстрировать треугольником на комплексной плоскости. Углы этого треугольника традиционно обозначаются α , β , γ .

В работе рассматривается метод определения угла γ , использующий CP-нарушение в распаде B мезона [2]. Метод использует два наблюдения: нейтральные D и анти D мезоны могут распадаться в одно и то же конечное состояние, и распад $B^+ \rightarrow DK^+$ может проходить через D мезоны обоих ароматов. Рассматриваются распады D и анти D в конечное состояние $K_S \pi^+ \pi^-$. Достоинством этого метода является то, что амплитуды обоих переходов являются Кабиббо разрешенными. Угол γ входит в относительную фазу интерферирующих амплитуд. Для анализа трехчастичного конечного состояния используются диаграммы Далитца. Для определения параметров смешивания амплитуд используется метод максимального правдоподобия.

Этот метод уже использовался [2]. Но в связи с открытием смешивания D мезонов возникает вопрос, какую это дает неопределенность. Целью работы является введение в метод определения угла γ явления смешивания D мезонов, а также, определение величины погрешности измерения угла γ , возникающей в результате не учета смешивания D мезонов.

К настоящему моменту написана программа для генерации диаграмм Далитца методом Монте-Карло, реализована подгонка параметров смешивания амплитуд методом максимального правдоподобия, выполнены первые Монте-Карло эксперименты.

-
1. Бондарь А.Е., Пахлов П.Н., Полуэктов А.О. «Наблюдение CP-нарушения в распадах B-мезонов» *УФН* **177** 697 (2007)
 2. A. Poluektov et al, Measurement of ϕ_3 with Dalitz plot analysis of $B^+ \rightarrow DK^+$ decay, *Phys. Rev. D* **70**, 072003.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. О. Полуэктов

ВКЛАД СКАЛЯРОВ В ЯДРО УРАВНЕНИЯ БФКЛ

Р. Е. Герасимов

Новосибирский государственный университет

Взаимодействие адронов в квантовой хромодинамике описывается эволюцией партонных функций распределения. В частном случае малых значений $x=Q^2/s$ – отношения характерной виртуальности Q^2 к квадрату энергии в системе центра масс s , подход, основанный на уравнении эволюции по энергии, известном как уравнение БФКЛ (Балицкого, Фаина, Кураева, Липатова), позволяет преодолеть трудности общего подхода, основанного на уравнениях ДГЛАП (Докшицера, Грибова, Липатова, Алтарелли, Паризи). Уравнение БФКЛ в настоящее время известно в приближении следующих за лидирующими логарифмов [1].

В работе вычислен вклад скалярных частиц в ядро уравнения БФКЛ. Существование скаляров, преобразующиеся по присоединенному представлению группы $SU(N_c)$, необходимо для построения различных суперсимметричных обобщений Стандартной Модели. В настоящее время большой интерес проявляется к расширенной $N=4$ суперсимметрии. В рамках этой модели строятся гипотезы о форме амплитуд процессов во всех порядках теории возмущений, которые могут быть проверены с использованием подхода БФКЛ.

Процедура вычислений во многом аналогична кварковому случаю [2]. Вклад скалярных частиц проявляется в следующем за лидирующем приближении и состоит из “виртуального” вклада в реджевскую траекторию глюона, и “реального” вклада в ядро уравнения БФКЛ, связанного с рождением реальных частиц в Реджеон-Реджеон столкновениях. В работе обсуждается причина значительного сокращения между вкладами скалярных частиц в ядро уравнения БФКЛ. Подобное сокращение ранее было получено в кварковом случае, когда значительная часть петлевых поправок сокращается с поправками, связанными с рождением реальной кварк-антикварковой пары. Это позволило преобразовать процедуру расчета, избежав части громоздких вычислений.

1. V. S. Fadin and R. Fiore, Non-forward NLO BFKL kernel, Phys. Rev. D72, 014018 (2005).

2. V.S. Fadin, R. Fiore, A. Papa, “The Quark Part of the Non-forward BFKL Kernel and the 'Bootstrap' for the Gluon Reggeization”. Phys. Rev. D60, 074025 (1999).

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

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОННО-МАГНИТНОЙ ОПТИКИ ВТОРОЙ ОЧЕРЕДИ УСКОРИТЕЛЯ-РЕКУПЕРАТОРА ЛСЭ

Я. В. Гетманов

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

Первая очередь ускорителя-рекуператора Новосибирского лазера на свободных электронах была успешно запущена в 2003. В настоящее время ведется работа по запуску ЛСЭ второй очереди. В начале февраля 2009 года была получена первая генерация.

Необходимое условие работы любой ускорительной системы – правильно рассчитанная и настроенная магнитная оптика. Вторая очередь состоит из четырёх дорожек и поворота на байпас. Она использует одну и ту же ускоряющую вч-систему, что и первая, но находится в горизонтальной плоскости, поэтому для ее запуска не требуется остановка первой очереди, переключение между двумя ускорителями осуществляется при помощи двух поворотных магнитов. В работе произведен расчет режимов токов для магнитных элементов ускорителя второй очереди с использованием специализированной программы MADX. Основная проблема заключалась в неопределённости начальных условий электронного пучка на влете в дорожки ускорителя. Поэтому, дорожки делились на составные части, в которых искались устойчивые режимы, и затем они согласовывались граничными элементами. Также, применялось инвертирование дорожек – пролет из середины в начало. В середине дорожки условия на оптические функции определены. В нашем случае альфа-функции и дисперсия равны нулю (условия симметричности дорожек и влёта в ондулятор). Кроме этого, в расчетах ограничивались поперечные размеры пучка (минимальный диаметр вакуумной камеры 80 мм), и предельный ток квадрупольных линз (до 10 ампер). В ходе расчетов требовалось правильно описать краевые эффекты дипольных магнитов. Для этого моделировалось движение в экспериментально измеренном поле магнита, и составлялась его матрица преобразования. Дополнительно транспортная матрица была получена разделением поля магнита на кусочки, в которых поле можно считать постоянным, и затем перемножением матриц этих кусков. Проведенные расчеты совпали с матрицами дипольных магнитов, введенных в программе MADX.

В результате были получены значения токов, распределения оптических функций для всех элементов четырёх дорожек второй очереди и поворота на байпас. Сделаны ахроматическими повороты на дорожки и большой поворот на байпас.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Н. А. Винокуров

КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОЙ СМЕСИ

К. А. Гревцов

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

Широкий класс современных экспериментов по физике элементарных частиц проводится на крупных установках – коллайдерах, с использованием современных комплексов систем регистрации частиц и излучений, называемых детекторами. Длительный и непрерывный характер проводимых экспериментов предъявляет жесткие требования к долговременной надежности и эффективности работы систем детектора, стабильности его параметров.

Вот уже на протяжении десятков лет детекторы на основе газовых смесей являются ключевыми элементами многих детектирующих систем. Пропорциональные, дрейфовые, стримерные камеры используются для трековых измерений, в системах регистрации мюонов, для решения задач идентификации частиц. Рабочим веществом таких детекторов является газовая смесь, выбор которой определяется конкретными требованиями эксперимента. Поскольку даже незначительное изменение параметров газовой смеси может привести к заметному изменению регистрирующих свойств детектора, требуется обеспечивать высокую и долговременную стабильность параметров газа в ходе эксперимента.

Для контроля стабильности параметров газовой смеси в детекторе СНД на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 в ИЯФ СО РАН в Новосибирске будет использована система мониторов качества газовой смеси. Каждый монитор состоит из дрейфовой ячейки, облучаемой коллимированным радиоактивным изотопом, и позволяет осуществлять непрерывный мониторинг стабильности параметров ударной ионизации (коэффициента газового усиления), скорости дрейфа электронов ионизации, длины поглощения электронов ионизации и других величин.

В рамках выполненных в 2008 году курсовых работ были произведены эксперименты по включению мониторов газовой смеси и измерению скорости дрейфа электронов ионизации и долговременной стабильности параметров ударной ионизации газовой смеси на основе аргона и CO_2 . Результаты измерений находятся в согласии с существующими экспериментальными данными и подтверждают возможность использования созданных мониторов газовой смеси для задач контроля в ходе начинающихся экспериментов с детектором СНД на ВЭПП-2000 в ИЯФ СО РАН им. Г. И. Будкера.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ АДРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙТРОННОГО МОНИТОРА НМ-06 И МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ

М. К. Жунусбеков, Т. Х. Садыков, А. В. Юшков
Физико-технический институт, Алматы, Казахстан

Казахский национальный университет им аль-Фараби, Алматы, Казахстан

На высокогорном комплексе АТНЛЕТ произведена модернизация нейтронного монитора НМ-06 расположенного на Промежуточной станции космических лучей («ПСКЛ») на уровне 1700 м н.у.м. Помимо монитора «ПСКЛ» в комплекс входят: нейтронный супермонитор 18НМ64 Тянь-Шаньской высокогорной научной станции ФИАН, ТШВНС (высота 3340 м н.у.м.) и монитор 6НМ64 Казахского национального университета (850 м н.у.м.). Нейтронный монитор Промежуточной станции представляет собой одну секцию из шести пропорциональных нейтронных счетчиков типа СНМ15, внутреннее устройство которой аналогично устройству супермонитора НМ64 и соответствует схеме, разработанной для нейтронного монитора в подземном помещении ТШВНС [1].

Получены спектр кратности нейтронных событий и временные распределения нейтронных сигналов при регистрации событий различной кратности [2]. На основе полученных данных проведено математическое моделирование развития ядерного каскада в объеме монитора для первичных адронов с энергией до 100 ТэВ и рассчитаны модельный спектр кратности и временные распределения сигналов. В качестве средства моделирования использовался программный пакет GEANT4. Калибровка модели взаимодействия была проведена с использованием данных, полученных сотрудниками ФИАН и ОИЯИ на электронном синхротроне и серпуховском ускорителе при измерении выхода нейтронов из нейтронного монитора типа НМ64.

1. A. P. Chubenko, A. L. Shepetov, V. V. Oscomov, T. Kh. Sadykov et al. The underground neutron calorimeter for registration of the neutron-bearing cosmic ray component at Tien-Shan. 30th Int. Cosmic Ray Conference, pages (2007)

2. A. P. Chubenko, A. L. Shepetov, V. V. Oscomov, T. Kh. Sadykov, N. A. Zastrozhnova, M. K. Zhunusbekov. Multiplicity spectrum and temporal distribution of cosmic rays' neutrons intensity at a height of 1700 m a.s.l. 5th Eurasian Conference. Nuclear science and its applications, pages (2008).

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. Т. Х. Садыков, д-р физ.-мат. наук, проф. А. В. Юшков.

РЕКОНСТРУКЦИЯ СОБЫТИЙ В ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЕ ДЕТЕКТОРА КМД-3

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

Для экспериментов на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера создается детектор КМД-3 [1]. Одной из систем, с помощью которой будут восстанавливаться кинематические характеристики трека в КМД-3, является дрейфовая камера.

Для поиска трека в камере используется информация о номерах сработавших проволочек, измеренных временах дрейфа и амплитудах с обоих концов проволочек. Из времени дрейфа с помощью изохрон, полученных в программе Garfield, определяется расстояние между треком и проволочкой, а по амплитудам методом деления заряда определяется Z-координата.

Поиск треков осуществляется методом гистограммирования. Найденные кандидаты в треки аппроксимируются с помощью метода наименьших квадратов. После того, как все треки в событии найдены, ищется общая вершина пары (или большего количества) треков.

После калибровок по событиям, координатное разрешение дрейфовой камеры составило 100 мкм (в минимуме) в поперечной плоскости и 2.5 мм вдоль проволочек.

1. В.М.Аульченко и др., Проект детектора КМД-2М // Препринт ИЯФ 2001-45, Новосибирск, 2000.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, Б. И. Хазин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ $e^+ e^- \rightarrow \text{hadrons}$ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ ВЭПП 2000

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

Для успешного проведения экспериментов на ускорительном комплексе ВЭПП-2000 важно иметь возможность моделировать процессы рождения различных адронных состояний в $e^+ e^-$ аннигиляции. Это может потребоваться как при изучении непосредственно этих процессов, так и при изучении других реакций, для которых эти процессы являются фоновыми. В данной работе рассмотрены процессы рождения $\pi^+ \pi^-$, $\pi^+ \pi^- \pi^0$, $\pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0$, $\pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$ и $\pi^0 \pi^0 \gamma$ в электрон позитронной аннигиляции.

Для моделирования этих процессов была написана программа, которая методом Монте-Карло считает полное сечение выбранного процесса и разыгрывает импульсы конечных частиц согласно теоретическим распределениям. Для одновременного моделирования большого количества конечных адронных состояний удобно реализовать алгоритм такой программы следующим образом. Лептонную ($e^+ e^- \rightarrow \gamma^*$) и адронную ($\gamma^* \rightarrow \text{hadrons}$) часть описать отдельно, в виде тензоров и сворачивать их в самой программе. Это позволяет довольно быстро добавлять новые конечные состояния. Данная программа написано именно в таком подходе.

В генераторе также учтены радиационные поправки за счет излучения фотонов из начального состояния и виртуальных поправок. В каждом событии излучается два фотона, один электроном, другой позитроном. Энергия каждого фотона разыгрывается согласно распределению приведенному в статье [1]. Угловое распределение разыгрывается согласно формуле Боне-Мартина [2].

На данный момент генератор описанных выше процессов написан и отлажен. Ведется работа по его интеграции с программным обеспечением детектора СНД.

-
1. M.Caffo, H.Czyz and E.Remiddi, Phys. Lett. B **327** (1994) 369.
 2. G.Bonneau and F.Martin, Nucl. Phys. B **27** (1971) 381.

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

ДВУХФОТОННОЕ РОЖДЕНИЕ ВЕКТОРНОГО РЕЗОНАНСА В e^+e^- СТОЛКНОВЕНИЯХ

Д. В. Матвиенко

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

С увеличением светимости стало возможным исследование таких относительно редких процессов как двухфотонное рождение векторных резонансов. При этом представляют интерес не только мезоны с квантовыми числами 1^{++} , описываемые наивной кварковой моделью, но и так называемые экзотические мезоны 1^{-+} .

Рождение $1^{\pm+}$ мезонов в $\gamma^* \gamma^*$ столкновениях исследовалось ранее в работах [1-4]. При этом векторный резонанс рассматривался как связанное состояние 3P_1 кварка и антикварка [2-4].

В работе получена параметризация амплитуды двухфотонного рождения векторного резонанса V с квантовыми числами 1^{++} и 1^{-+} в реакции $e^+e^- \rightarrow e^+e^-V$. Помимо этого, предполагалось, что одна из начальных частиц отклоняется в результате рассеяния на малый угол, так что испускаемый ею виртуальный фотон можно считать квазиреальным. В таком подходе найдено дифференциальное по передаче импульса сечение рассеяния $d\sigma/dQ^2$. Стоит отметить также, что сечения рождения 1^{-+} и 1^{++} мезонов отличаются друг от друга лишь заменой форм-факторов $G_{M1}(Q^2) \rightarrow G_{E1}(Q^2)$, $G_{E2}(Q^2) \rightarrow G_{M2}(Q^2)$, соответствующих определенным мультиполям.

1. G. Kopp, T. Walsh and P. Zerwas, Hadron production in virtual photon-photon annihilation, Nucl. Phys. B70, 461 (1974).

2. F. Renard, $1^{\pm+}$ resonances in $\gamma\gamma$ collisions, Nuovo Cimento A80, 1 (1984).

3. R. Cahn, Production of spin-one resonances in $\gamma\gamma^*$ collisions, Phys. Rev. D35, 3342 (1987).

4. G. Schuler, F. Berends and R. van Gulik, Meson-photon transition form factors and resonance cross-sections in e^+e^- collisions, Nucl. Phys. B523, 423 (1998).

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

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫЧИСЛЕНИЮ СЕЧЕНИЯ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ НА АТОМЕ

Нгуен Чыонг Тхань Хиеу

Волгоградский государственный технический университет

В ряду наиболее важных проблем транспорта электронных пучков задача описания сечений упругого рассеяния представляется весьма актуальной. В настоящее время главную роль в теоретическом описании играет подход, предложенный Баньяном и Шонфельдером [1] (BS), реализованный при вычислении сечений рассеяния электронов в Физико-Техническом институте им. А.Ф. Иоффе [2].

Вычислительная схема [1] состоит из приближенного аналитического решения дифференциального уравнения для функции, определяющей фазовые сдвиги сферических рассеянных волн, на расстояниях r от ядра атома от нуля до некоторого произвольно выбранного малого значения r_0 с последующим численным решением этого уравнения для $r \notin [r_0, \infty)$. В

настоящей работе предложен аналитический подход к вычислению фазовых сдвигов рассеянных сферических волн, который исходит из решения уравнений Дирака для электрона в сферически симметричном скалярном потенциальном поле. Решение задачи сводится к непосредственному вычислению фазовых сдвигов по квадратурной формуле Лобатто [3].

Сравнение полученных аналитических результатов с экспериментальными измерениями поляризации электронного пучка при рассеянии на атомах золота, приведенными в [1], а также с полученными методом BS дифференциальными сечениями упругого рассеяния электронов на атомах, приведенными в электронном архиве [2], показало хорошее согласие результатов.

-
1. Polarization by mercury of 100 to 2000 eV electrons / Bunyan P. J. and Schonfelder J. L. // PROC. PHYS. SOC. – 1965 – VOL. 85 – С. 455 – 462.
 2. Электронный архив: <http://www.ioffe.ru/ES>.
 3. Gander, W. and W. Gautschi, "Adaptive Quadrature – Revisited," BIT, Vol.40, 2000, pp. 84-101.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. А. Смоляр

ВРЕМЯ ПРОЛЕТНЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ РЕДКИХ ИЗОТОПОВ

А. В. Петрожицкий

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

В настоящее время большой интерес в археологии, биомедицине, геологии и др. представляет анализ редких, космогенных изотопов. Основным инструментом в подобных исследованиях является метод ускорительной масс спектрометрии (УМС). Чувствительность спектрометра определяется надежностью отделения фоновых событий, поэтому улучшение характеристик финального детектора является важной задачей в повышении чувствительности УМС, созданного в ИЯФ

В современной технике УМС широкое распространение получила схема регистрации, основанная на измерении времени пролета ионом заданной базы (Время Пролетная система)[1]. Традиционные ВП детекторы используют датчики на основе регистрации вторичной эмиссии с тонкой пенки, собираемой на микроканальный усилитель (МКП) с помощью уголкового электростатического отражателя. Они обладают рядом недостатков: односторонний сбор вторичной эмиссии, затенение апертуры отражающими и ускоряющими сетками, отсутствие подавления естественного шума МКП. Эти факторы в совокупности приводят к невысокой эффективности регистрации. В данной работе исследуется новая схема время пролетного детектора, осуществляющая двусторонний сбор вторичной эмиссии с пленки на отдельные МКП с использованием дрейфа электронов в скрещенных электрических и магнитных полях [2]. К преимуществам новой схемы относятся повышение прозрачности детектора, подавление фона МКП схемой совпадений, возможность измерения собственного разрешения отдельного датчика.

В работе приведено теоретическое обоснование предлагаемой схемы. Произведена предварительная оценка характерных параметров детектора. Оптимизация параметров детектора осуществлялась на основе численного моделирования. Был изготовлен прототип детектора и произведены его испытания на источнике альфа-частиц и непосредственно на пучке ионов создаваемого УМС. Эти эксперименты продемонстрировали преимущества выбранной концепции.

1. W. Starzecki, A.M. Stefanini, Nucl. Instrum. and Methods 193 (1982) 499-505.

2. Z. Fang, D. J. O'Connor, Rev. Sci. Instrum. 68 (11), Nov. 1997.

ВРЕМЕНА ЖИЗНИ И РАЗМЕРЫ ПУЧКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ВНУТРЕННЕЙ МИШЕНЬЮ НА ВЭПП-2000

А. Е. Стариков

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

В настоящее время, на ускорительном комплексе ВЭПП-2000, планируется проведение экспериментов с внутренней водородной мишенью для измерения поляризации электронного пучка, используя зависимость сечения рассеяния от поляризации по e^- спину электронов водорода. Важным вопросом для проведения этих экспериментов являются такие параметры как время жизни и размеры пучка.

Проведение данного эксперимента планируется в диапазоне энергий от 200 до 1000 МэВ. Для получения наиболее точных характеристик электронного пучка необходимо рассмотреть однократные и многократные процессы и степень их влияния на параметры сгустка. Кроме традиционных процессов радиационного затухания и квантовой раскачки, необходимо также учесть рассеяние электронов пучка на атомах мишени, тормозное излучение на атомах остаточного газа. Далее следует учесть, что на энергиях порядка 200 МэВ одним из определяющих факторов в формировании установившегося эмиттанса пучка и его времени жизни является внутрисгустковое рассеяние. При рассеянии электрона на электроне внутри пучка часть импульса из поперечной компоненты переходит в продольную. Т.к. мы имеем дело с релятивистскими электронами, то в лабораторной системе отсчёта это приращение импульса необходимо умножить на релятивистский фактор γ . И такое изменение импульса может приводить к вылету частицы из высокочастотной сепаратрисы, что неизбежно приведёт к гибели этой частицы. Этот эффект (однократный эффект Тушека) в значительной мере оказывает влияние на время жизни пучка. Если же рассмотреть слабые соударения, не приводящие к потерям, то мы увидим что в результате таких соударений возбуждаются бетатронные и синхротронные колебания приводящие к увеличению размеров пучка (многократный эффект Тушека).

В данной работе были рассмотрены эти эффекты, был оценён их вклад в формирование пучка и рассчитаны времена жизни и размеры пучков в диапазоне энергий от 200 до 1000 МэВ. На основании полученных результатов были построены графики зависимости эмиттанса, времени жизни пучка, а также ограничения плотности мишени от энергии.

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

ИНКЛЮЗИВНОЕ РОЖДЕНИЕ K_s^0 МЕЗОНА В e^+e^- АННИГИЛЯЦИИ В ОБЛАСТИ РЕЗОНАНСА $\Psi(3770)$

Т. А. Харламова

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

В Институте ядерной физики проводятся эксперименты с детектором КЕДР на накопителе ВЭПП-4М, который позволяет изучать процессы на встречных электрон-позитронных пучках в области энергий $\sqrt{s}=2-11$ ГэВ [1]. В настоящее время ведется обработка данных, полученных при наборе статистики на энергии J/Ψ , $\Psi(2S)$, $\Psi(3770)$ - мезонов и τ - лептона [2,3].

Измерение сечения инклюзивного рождения тяжелых мезонов и барионов в e^+e^- аннигиляции позволяет исследовать различные аспекты сильного взаимодействия, в частности, поведение функций фрагментации кварков в адроны [4].

В данной работе изучалась реакция $e^+e^- \rightarrow K_s^0 + X$ в области резонанса $\Psi(3770)$. Число K_s^0 в пике $\Psi(3770)$, полученное фитированием распределения по инвариантной массе двух пионов для разных значений параметра x_p ($x_p = P_{K_s^0}/P_{\max}$, где $P_{K_s^0}$ – импульс K_s^0 мезона, P_{\max} – максимальный импульс при заданной энергии пучков), представлено на рис.1. В эксперименте наблюдаются два

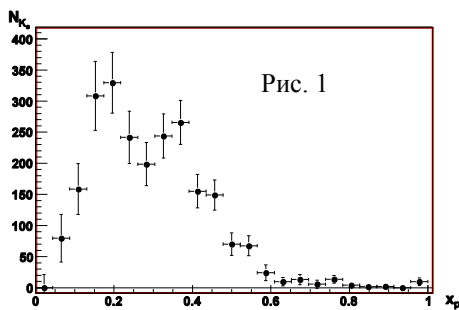


Рис. 1

пика в сечении, что, скорее всего, объясняется вкладом событий подложки.

1. A.N.Skrinsky. Electron-positron colliders, detectors and experiments at BINP. NIM A598(2009)1.

2. E. M. Baldin. Results on J/Ψ , $\Psi(2S)$, $\Psi(3770)$ from KEDR. Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) 181-182 (2008) 353-357

3. A. G. Shamov. Tau mass measurement at KEDR. Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) 181-182 (2008) 311-313

4. B. Aubert et al. Inclusive Λ_c^+ production in e^+e^- annihilation at $\sqrt{s}=10.54$ GeV and in $Y(4S)$ decays. hep-ex/0609004.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук В. Е. Блинов, К. Ю. Годышев

ОБРАТИМОСТЬ ДИНАМИКИ НЕЛИНЕЙНОГО КВАНТОВОГО ОСЦИЛЛЯТОРА ПРИ НАЛИЧИИ ШУМОВОГО ВОЗМУЩЕНИЯ

Я. А. Харьков

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

Движение классических хаотических систем необратимо из-за экспоненциальной неустойчивости к внешним возмущениям [1]. Эволюция их квантовых аналогов оказалась гораздо более устойчивой и обратимой [2]. Недавнее исследование [3] обратимости и устойчивости динамики нелинейного квантового осциллятора по отношению к мгновенному одиночному возмущению показало, что обратимость в зависимости от силы возмущения носит пороговый характер, а величина этого порога определяется текущей сложностью квантового состояния, характеризуемой числом гармоник функции Вигнера [3].

Более типичным, однако, является не однократное, а непрерывное возмущение системы, например – шумовым воздействием на систему внешнего окружения (термостата). В связи с этим возникает интерес к исследованию обратимости квантовой эволюции в условиях шумового возмущения.

Наличие шумового возмущения существенно меняет свойства изучаемой системы: она становится открытой и диссипативной (негамильтоновой), а усреднение ее эволюции по шумовому воздействию приводит к статистическому описанию ее свойств. В частности, сам диссипативный процесс и «размешивание» системы по различным состояниям связаны с понятием энтропии Гиббса. С другой стороны, сложность ее квантового состояния, отвечающая за устойчивость и обратимость ее эволюции, связана с количеством информации, характеризующей это состояние, или его информационной энтропией. Целью работы является изучение как критериев устойчивости и обратимости движения системы, так и выяснение связи между этими двумя видами энтропии применительно к данной задаче. В рамках модели нелинейного квантового осциллятора найдена критическая сила шума σ_c , разрушающего обратимость, детально изучены, аналитически и численно, случаи слабого и сильного шума.

-
1. B.V. Chirikov, Phys. Rep. 52 (1979) 263.
 2. D.L. Shepelyansky, Physica D8 (1983) 208.
 3. V.V. Sokolov, O.V. Zhirov, Europhys. Letters 84 (2008) 30001.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук О. В. Жиров

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СПЕКТРОВ ГЕРМАНИЕВОГО ДЕТЕКТОРА

А. И. Хорошилов

Новосибирский государственный университет

В работе исследуется полупроводниковый германиевый детектор. Он представляет собой цилиндр из сверхчистого германия радиусом 27,25 мм и высотой 51,5 мм (чувствительный объём). Внутри цилиндра имеется пустое отверстие радиусом 4 мм. Данный цилиндр покрыт тефлоном и помещён в двойную оболочку из дюралюминия. Пространство между двумя оболочками заполнено вакуумом в целях теплоизоляции германиевого кристалла. Чувствительный объём охлаждается посредством его контакта через алюминиевый стержень с жидким азотом. На внутреннюю и внешнюю поверхности германиевого цилиндра подаётся разность потенциалов. При прохождении заряженной частицы через детектор, образующие в чувствительном объёме электрон-дырочные пары разделяются во внешнем электрическом поле и оседают на аноде и катоде соответственно. Собранный электрический заряд пропорционален ионизации, выделившейся в германиевом кристалле. Низкие температуры нужны для снижения теплового шума в кристалле и повышения точности измерения энергии. Главное преимущество этого детектора – его высокое энергетическое разрешение. Он способен измерять энергию γ -квантов с точностью 1 КэВ. В настоящее время этот детектор применяется на ускорителе ВЭПП-4М в ИЯФе для измерения энергии пучка. Планируется его использование в измерении спектров тормозного излучения и обратного комптоновского рассеяния, что является актуальной задачей.

Для этого необходимо научиться восстанавливать из экспериментальных спектров исходные. Не все частицы, попадающий в детектор, выделяют в нём свою энергию полностью, а это в свою очередь приводит к искажению первоначального сигнала. Задача восстановления исходного сигнала решается путём моделирования на программе GEANT4 матрицы отклика для детектора и последующим действием этой матрицы на набранный экспериментальный спектр. Главным фактором, влияющим на точность восстановления спектра, является соответствие заложенной в моделирование геометрии детектора геометрии реального детектора, на котором ведётся набор данных. Также нужно заметить, что при моделировании матрицы отклика необходимо учитывать распределения по углам, под которыми частицы разных энергий попадают в детектор. В настоящий момент эта процедура успешно восстанавливает спектры от точечных источников – различных изотопов. Ведётся работа по моделированию матрицы отклика, которая бы позволила правильно восстанавливать спектры обратного комптоновского рассеяния.

Научный руководитель: И. Б. Николаев

РАСПАДЫ τ - ЛЕПТОНА И СВТ

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

Гипотеза сохранения векторного тока (СВТ) и изоспиновая симметрия приводят к соотношению между сечением реакции $e^+e^- \rightarrow h^0$ и шириной соответствующего распада $\tau^- \rightarrow h^- \nu_\tau$. Связь обусловлена тем, что сравниваются различные изоспиновые компоненты векторного изовекторного тока в распадах τ - лептона и в процессах e^+e^- аннигиляции.

Новое сравнения результатов СВТ с экспериментом мотивировано, в первую очередь, успехом достигнутым в понимании e^+e^- аннигиляции в адроны [1], а также новыми точными измерениями распадов τ - лептона.

Векторная часть изовекторного ud -тока имеет положительную G - четность, поэтому разрешенные квантовые числа для адронных каналов распада τ - лептона, идущих через векторный ток, - это $J^{PG} = 1^{-+}$.

Таким квантовым числам, например, отвечают следующие возможные моды распада τ - лептона:

$$\tau^- \rightarrow 2 \pi \pi \pi, \tau^- \rightarrow \pi \omega \nu, \tau^- \rightarrow \eta(\eta') \pi^- \pi^0 \nu, \dots$$

При этом относительная вероятность распада в адроны, нормированная на относительную вероятность распада в лептоны дается выражением:

$$\frac{B(\tau^- \rightarrow h^- \nu_\tau)}{B(\tau^- \rightarrow e^- \nu_\tau \nu_e)} = \frac{3 \cos^2 \theta_c S_{EW}}{2 \pi \alpha^2 m_\tau^8} \int dq^2 q^2 (m_\tau^2 - q^2)^2 (m_\tau^2 + 2q^2) \sigma_{e^+e^-}(q^2)$$

В работе вычислены относительные вероятности распада τ - лептона в конечные состояния $\tau^- \rightarrow \eta(\eta') \pi^- \pi^0 \nu$. Для канала распада $\tau^- \rightarrow \eta \pi^- \pi^0 \nu$ полученное значение составило $(0.155 \pm 0.017) \%$, экспериментальное значение $(0.139 \pm 0.008) \%$, для $\tau^- \rightarrow \eta' \pi^- \pi^0 \nu$ - $< 3.2 \times 10^{-5}$. При этом экспериментальный верхний предел: $< 8 \times 10^{-5}$.

1. В. Aubert et al., Phys. Rev. D 76 (2007) 092005

2. К. Inami et al., Phys. Lett B 672 (2009) 209

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

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ ОТОБРАЖЕНИЯ СОБЫТИЙ ДЛЯ ДЕТЕКТОРА СНД

Е. П. Волкова

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

В проведении физического эксперимента одну из главных позиций занимает обработка полученной информации. Возможность наблюдения за ходом событий позволяет своевременно выявить неполадки оборудования, а реконструкция событий по сохраненным данным позволяет более детально изучить интересующий процесс. Помимо обработки статистических данных в виде графиков и числовых значений, немаловажное значение имеет возможность наглядно наблюдать происходящие события. Данная работа включает в себя разработку программного обеспечения для Сферического нейтрального детектора (СНД)[1] установленного на комплексе ВЭПП-2000[2], которое позволит визуализировать события в on-line и off-line режимах.

Основной задачей проекта являлась реализация приложения, способного одновременно отображать следующие проекции: R-Z, R-φ, 2D развертка калориметра, 3D. К приложению выдвигались дополнительные требования: сохранение изображения при помощи векторной графики (SVG, PostScript), конфигурирование и сохранение настроек, эргономичный и интуитивно понятный интерфейс. Архитектура приложения представляет собой набор отдельных компонент, что позволяет легко расширять функционал ПО. Выделенные компоненты позволяют расширять следующие сущности: проекции, вид, управление.

Приложение реализовано на языке C++, для работы с графикой используются библиотеки Qt и plotutils, внешний вид приложения реализован в модели MDI. Проект является дальнейшим развитием работы [3].

-
1. Аульченко В.М и др., ПТЭ, 2007, № 6. ст. 65-82
 2. Shatunov Yu.M., ICFA Mini-workshop. Working Group on High Luminosity e+e- Colliders, Alghero, Sardinia, Italy, 2003.
 3. Волкова Е.П. Материалы XLV МНСК, Информационные технологии, г. Новосибирск, 2007 г., с. 74

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

ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ ДЛЯ РАБОТЫ С ОДНОКООРДИНАТНЫМ РЕНТГЕНОВСКИМ ДЕТЕКТОРОМ DIMEX

А. В. Головизин
Новосибирский государственный университет

В Институте ядерной физики был создан однокоординатный рентгеновский детектор синхротронного излучения с пространственным разрешением 0,1 мм и временным разрешением около 250 нс[1], что позволяет проводить рентгеновскую томографическую съемку взрывного эксперимента в реальном времени.

В данный момент разрабатывается программный пакет из двух программ: контрольно-измерительной программы и программы постобработки.

Программа управления предназначена для мониторинга пучка СИ в реальном времени и проведения взрывных экспериментов.

Программа для постобработки экспериментальных данных позволяет получить динамическую картину координатного распределения вещества в ходе эксперимента. Для этого используются данные калибровки детектора с различной толщиной поглотителя при равномерной засветке. Кроме того, нивелируется влияние «мертвых» каналов.

Обе программы построены на кроссплатформенных библиотеках QT 4.4.3 и QWT 5.1.1. Эти библиотеки распространяются в виде открытого исходного кода и стали за последние годы промышленным стандартом при визуализации графической информации, что в перспективе может значительно облегчить портирование под другие ОС.

I. V.Aulchenko, P.Papushev, S.Ponamarev, L.Shekhtman, V.Zhulanov. Development of a onedimensional detector for the study of explosion with a synchrotron radiation beam. // J. Synchrotron Radiation. 2003. v. 10, p. 361-365.

Научный руководитель – В.В. Жуланов

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДАТЧИКОВ НАБЛЮДЕНИЯ ПУЧКА В КОЛЛАЙДЕРЕ ВЭПП-2000

Р. А. Головин

Новосибирский государственный университет

В ИЯФ СО РАН запущен в 2006 г. коллайдер ВЭПП-2000 с круглыми встречными e^+e^- пучками с энергией 2 ГэВ в системе центра масс. Для получения наилучших характеристик машины необходимо контролируемое управление отдельными параметрами оптики машины, например, измерение частот колебаний пучка и положения пучка в вакуумной камере. Для решения выше упомянутых задач используют электромагнитные датчики (пикапы).

Пикап датчики состоят из четырёх электродов (таблеточного типа), подключенных к «быстрым» четырёхканальным АЦП в стандарте КАМАК, с внешним запуском, внешней тактировкой вплоть до 20 МГц и внутренней памятью на 32К измерений на канал. Особенностью является использование контроллера КАМАК крейта на основе PowerPC, с установленной ОС Linux [1]. Применение «быстрых» электронных осциллографов (АЦП) вместе с интеллектуальным контроллером установленным непосредственно на магистральной шине крейта, позволяет наблюдать пообротный сигнал пучка для оперативного измерения частоты бетатронных колебаний пучка и его координат.

Данная работа посвящена разработке программного обеспечения системы пикап-диагностики пучков. Основной целью настоящей работы является визуализация измерений, управление измерительной аппаратурой и процессом измерения, сохранение информации. Требования к создаваемому ПО:

- Удобный, надежный интерфейс для управления процессом измерений и настройки аппаратуры
- Клиент-серверная архитектура, протокол ТСР/ІР
- Гибкость и масштабируемость системы
- Параллельное измерение и орбиты и частот колебаний
- Возможность сохранения информации указанной пользователем, для последующей offline обработки
- Использование современных технологий в реализации

1. Мамкин В.Р. Контроллер КАМАК СМ5307 Новосибирск, 2001

Научный руководитель – Ю. А. Роговский

УПРАВЛЕНИЕ ДЕТЕКТОРОМ КМДЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ WEB-ТЕХНОЛОГИЙ

Е. В. Гоман

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

В Институте ядерной физики СО РАН разрабатывается детектор КМД-3 [1], предназначенный для регистрации продуктов столкновений электрон-позитронных пучков в накопителе ВЭПП-2000. Система автоматизации детектора – сложный аппаратно-программный комплекс с множеством параметров, требующий постоянного контроля и управления. Задача работы – разработать интерфейс оператора системы с использованием web-технологий.

В качестве основы системы сбора данных используется программный пакет Midas [2]. Частью этого пакета является специализированный web-сервер для управления и контроля системы. Существующий интерфейс, разработанный с использованием этого сервера, имеет ряд недостатков: недостаточная гибкость, недостаточная интерактивность, сложность в поддержке и развитии. Для преодоления этих недостатков было решено создать новый интерфейс с использованием стандартных web-технологий, таких как Javascript, DHTML, XML, AJAX. В качестве инструмента для разработки клиентского интерфейса был выбран Google Web Toolkit (GWT) [3]. Для написания серверной части был выбран язык python [4], также использовалось его расширение pyROOT [5] для генерации графиков и гистограмм. В настоящее время происходит внедрение нового интерфейса с учетом пожеланий операторов детектора.

1. В. М. Аульченко и др., Проект детектора КМД-2М, препринт ИЯФ 2001-45, Новосибирск, 2001.

2. Stephan Ritt, MIDAS: Maximum Integrated Data Acquisition System.
<http://midas.psi.ch/>

3. <http://code.google.com/intl/ru/webtoolkit/>

4. Guido van Rossum et al., Python Programming Language.
<http://www.python.org>

5. Wim Lavrijsen, PyROOT, A Python - ROOT Bridge.
<http://wlav.web.cern.ch/wlav/pyroot>

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

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ГАЗОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УМНОЖИТЕЛЯХ В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ РАССЕЯННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ЭКСПЕРИМЕНТА КЕДР

В. Н. Кудрявцев

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

Система регистрации рассеянных электронов (СРРЭ) предназначена для изучения двухфотонных взаимодействий электрона и позитрона в эксперименте «КЕДР». Существующая СРРЭ работает на базе детекторов на основе дрейфовых трубок [1]. Однако ее пространственного разрешения в 300 мкм недостаточно для работы в области энергий вблизи J/ψ резонанса (~ 3.16 ГэВ). Поэтому было принято решение модернизировать СРРЭ на основе координатных детекторов с газовыми электронными умножителями (ГЭУ) [2].

Новые детекторы используют современную электронику и требуют новое программное обеспечение отличное от того что используется сейчас, но в то же время совместимое для работы с существующей системой сбора данных «КЕДР». Так же к программному комплексу предъявляются жесткие требования на скорость и эффективность обработки. Актуальной задачей является не только сбор данных, но и наблюдение, и управление детекторами.

В работе представлено описание разработанного программного комплекса. Тестовые запуски показали соответствие параметров программного обеспечения исходным требованиям.

-
1. В.М. Аульченко и др., Препринт ИЯФ 91-45, Новосибирск (1991)
 2. V.M. Aulchenko, et al., Nucl. Instr. and Meth. A 494 (2002) 241.

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

МЕТОДЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ ЗАДАЧ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А. И. Кузьмин

Новосибирский государственный университет
ЗАО «ЛЕДАС»

В настоящее время интенсивное развитие САПР и их высокая востребованность в промышленности привели к необходимости параметризации геометрических моделей. На сегодняшний день наиболее общим подходом к такой параметризации является вариационное параметрическое проектирование [1-3]. В нем модель описывается системой наложенных на объекты ограничений, т. е. произвольных зависимостей между параметрами этих объектов. Для разрешения этих нелинейных зависимостей требуется разработка специальных программных компонент, называемых геометрическими решателями [1].

Общим методом геометрического решателя LGS2D является численное решение нелинейных уравнений, полученных на основе заданных пользователем ограничений [1]. Этот подход обладает рядом недостатков, например, невозможностью гарантировать сходимость к решению и высокой вычислительной сложностью. Так, трудоемкость используемого в LGS2D метода Ньютона растет кубично с увеличением числа уравнений.

Наиболее эффективный подход, который позволяет компенсировать эти недостатки численных методов, это декомпозиция задачи [2]. Работа посвящена методам геометрической декомпозиции, основанным на анализе графа объектов и ограничений и использующим геометрические свойства составляющих модель объектов [2, 3].

Программная реализация рассмотренных алгоритмов успешно внедрена в геометрический решатель LGS2D. Как следствие, получен прирост производительности решателя, увеличен размер потенциально решаемых моделей, а также улучшена так называемая натуральность решений (близость получаемого решения к начальной конфигурации для задач с неединственным решением).

1. Ershov A., Ivanov I., Preis S., Rukoleev E., Ushakov D. LGS: Geometric Constraint Solver. //Lecture Notes in Computer Science, 2890. – P. 423-430.

2. Hoffmann C.M. Constraint-Based Computer-Aided Design. //J. of Comput. Inf. Sci. Eng.. - 2005. - Vol. 5, №3. - P.182-187.

3. А.Г.Ершов. Алгоритмы и программные системы для геометрических задач параметрического проектирования. //Дис. канд. физ.-мат. наук, Новосибирск-2007. – 168 с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ РЕГИСТРАЦИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ ТОМО PIV

В. А. Ложкин

Новосибирский государственный университет

Метод Томо PIV (Tomographic Particle Image Velocimetry) позволяет измерять мгновенные 3-х компонентные поля скорости в выбранном измерительном объеме потока. Томо PIV [1] основан на том же принципе реконструкции изображения, что и медицинское диагностическое оборудование для томографических исследований. Отличие состоит в использовании меньшего числа проекций. Трассеры в области измерения регистрируются одновременно на четыре цифровые камеры с различными углами обзора области потока.

Томографическая реконструкция области потока по полученным проекциям позволяет получить распределение интенсивности света, рассеянного частицами в толщине лазерного ножа, совпадающее с тем, что наблюдается во время эксперимента.

В данной работе рассмотрены методы оптимизации процесса томографической реконструкции по скорости расчета, точности восстановления объемной интенсивности при различных параметрах регистрации.

Экспериментальные данные характеризуются разреженностью полезного сигнала, так как фон изображения не содержит значимой информации для определения скорости. Предварительная сегментация изображений позволяет идентифицировать области проекций занятых частицами. Такой подход позволяет на 30-50% уменьшить время расчета без существенных потерь в точности реконструкции. Точность томографической реконструкции оценивалась по критерию сходства с исходными синтетическими распределениями частиц. В работе было оценено влияние концентрации частиц, величина углов обзора, погрешность калибровки камеры на ошибку расчета скорости частиц.

1. Elsinga G.E., Scarano F., Wieneke B., Oudheusden B.W. Tomographic particle image velocimetry // Exp. Fluids. 2006. 41. 933-947

2. Д.М. Маркович, М.П. Токарев Алгоритмы реконструкции трехкомпонентного поля скорости в методе Stereo PIV // Вычислительные методы и программирование 2008 Т. 9. 311-326

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук, А. В. Бильский

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ БАЗ ДАННЫХ

А. И. Панов

Новосибирский государственный университет
Институт цитологии и генетики СО РАН

В настоящее время большую роль в биологии играют базы данных, хранящие большое количество информации о биологических объектах, молекулярно-генетических системах. Такие базы имеют разнородные форматы представления и не лишены ошибок в первичных данных. В связи с этим встает задача объединения и систематизации информации, собранной такими системами.

Ранее [1] была описана технология семантической интеграции данных в единую индексированную базу (MetaBase). Данный подход предусматривает отделение описания хранимой предметной области (мета-уровень) от, собственно, самих данных (индексный уровень). Это позволяет использовать систему для объединения баз, различающихся не только синтаксисом. Допускаются некоторые различия в семантиках, которые объединяются в общее представление на мета-уровне, определяемое пользователем. Обязательным является наличие ссылок на источник для каждого объекта, занесенного в MetaBase. Так же вводится понятие достоверности на основе уровня доверия ссылкам конкретного объекта.

Данная работа рассматривает вопросы, связанные с практической реализацией технологии семантической интеграции. Наибольшее внимание уделено следующим функциям: 1) выявление взаимодополняющих объектов различных источников и проведение первичной интеграции данных; 2) проведение структурированного поиска данных по всем интегрированным источникам; 3) контроль целостности хранимой информации; 4) выявление пробелов, противоречий и ошибок.

Данное приложение может быть использовано не только в качестве системы интеграции и хранения биологических данных, но и в тех областях знаний, где может быть создано достаточно структурированное и формализованное представление предметной области.

1. Д. С. Мигинский, В. В. Лабужский, М. М. Лаврентьев-мл., А. В. Морозов, С. А. Соколов, Технология семантической интеграции баз данных в системной биологии, Вычислительные технологии, Т. 13(2008)

Научный руководитель – Д. С. Мигинский

СИСТЕМА ЖУРНАЛИРОВАНИЯ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ВЭПП-2000

А. И. Сенченко

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

Ускорительный комплекс ВЭПП-2000, расположенный в ИЯФ СО РАН, состоит из большого числа разнообразных подсистем, в сумме дающих порядка 1000 каналов управления и 2000 каналов контроля и измерения. Одной из важных задач, стоящих при разработке систем автоматизации для физических установок такого класса, является создание расширяемого и унифицированного программного обеспечения. Это позволяет сократить количество однотипных программ, тем самым упростив их поддержку и модернизацию.

В тоже время изменения, происходящие на комплексе, требуют создания новых и модификацию существующих программ, что в свою очередь приводит к разрастанию набора ПО. В связи с этим на комплексе были начаты шаги по унификации, одним из этапов которой является создание единой системы журналирования.

В задачу данной системы входит сохранение параметров работы комплекса. Она представляет собой распределенную структуру, созданную по клиент-серверной технологии. Клиентская часть представляет собой унифицированный программный интерфейс, позволяющий производить чтение и запись данных. На стороне сервера реализована логика предобработки данных и механизмы сохранения данных. Модуль предобработки реализует оптимизацию хранения данных. В процессе проектирования сервера было уделено особое внимание возможности добавления новых способов предобработки данных и новых типов хранилищ. С целью повышения производительности было применено кэширование, что позволило использовать реляционные СУБД в качестве хранилища. Архитектура системы позволяет масштабировать ее на группу компьютеров. Административная часть позволяет производить конфигурацию параметров системы и контролировать функционирование.

Данная система будет служить основным источником данных для систем постобработки и анализа функционирования комплекса.

Научный руководитель – П. Б. Чеблаков

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ

ПЛОТНОСТЬ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЗАИМНОЙ ДИФФУЗИИ РАСПЛАВОВ ВИСМУТ–ОЛОВО ЭВТЕКТИЧЕСКОГО И ОКОЛОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СОСТАВОВ

Р. Н. Абдуллаев

Новосибирский государственный университет

Эвтектика висмут–олово рассматривается в качестве одной из альтернатив токсичным свинцовосодержащим припоям. Прочностные и смачивающие характеристики безсвинцовых припоев в настоящее время изучаются очень интенсивно. Однако многие теплофизические свойства системы Bi–Sn исследованы недостаточно надежно и подробно. В частности, расхождения между литературными данными по плотности расплавов висмут–олово достигают 5 %. Скачки плотности при переходе твердое тело – жидкость не измерялись вообще. Исследования диффузии в жидком состоянии ранее проводились, в основном, на разбавленных растворах висмута в олове и олова в висмуте, при этом результаты различных авторов по коэффициентам диффузии различаются в 1.5–2 раза.

В данной работе, методом просвечивания образцов узким пучком гамма-излучения исследованы температурные зависимости плотности жидких сплавов висмут–олово, содержащих 30.0, 44.0 и 54.0 ат. % Bi, при температурах от линии ликвидуса до 920 К. В изученных интервалах плотность расплавов слабо нелинейно зависит от температуры. Впервые непосредственно измерен скачок плотности при фазовом переходе твердое тело – жидкость для сплава эвтектического состава (44.0 ат. % Bi). Установлено, что плотность твердой эвтектики меньше плотности расплава. Связано это с тем, что один из компонентов эвтектики (Bi) имеет аномальный скачок плотности. Построены температурные и концентрационные зависимости термических свойств жидкой системы Bi–Sn. Изучена кинетика гомогенизации расплавов со средним составом 44.0 и 54.0 ат. % Bi, при температурах от 550 до 850 К. Методика исследований основана на непосредственной регистрации профилей концентрации и плотности в негомогенных жидких образцах и их эволюции во времени. Из этих экспериментов определены коэффициенты взаимной диффузии. Проведено сопоставление полученных результатов с литературными данными. Показано, что поведение термических свойств жидкой системы хорошо описывается законами идеального раствора. Температурная зависимость коэффициента взаимной диффузии для расплавов висмут–олово околоэвтектического состава не имеет особенностей и удовлетворительно описывается уравнением Аррениуса.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Р. А. Хайрулин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ПЛЕНОК $Cd_{1-x}Zn_xTe$ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ

И. А. Азаров

Научно-образовательный комплекс «Наносистемы и современные материалы» Новосибирского государственного университета
Институт физики полупроводников СО РАН

При создании высококачественных структур на основе кадмий-ртуть-теллура методом молекулярно лучевой эпитаксии проблемой являются дефекты роста, возникающие вследствие структурных различий подложки и функционального материала. Параметры решетки можно согласовать созданием буферного слоя кадмий-цинк-теллура (КЦТ) заданного состава. Разработка методов контроля состава в процессе роста является актуальной задачей.

Для решения этой задачи использовался бесконтактный неразрушающий метод спектральной эллипсометрии, который позволяет проводить измерения в условиях роста и является наиболее информативным.

В работе были выявлены особенности эллипсометрических спектров КЦТ, по которым возможно определение состава и предложены различные методы его вычисления. Точность каждого метода определялась на серии образцов с различной концентрацией цинка. Наиболее информативными оказались участки спектра вблизи критических точек E_0 , E_1 и $E_1+\Delta_1$, наблюдаемые в исследуемой области спектра (250-1000нм). Установлено, что чувствительность спектра вблизи точек E_1 и $E_1+\Delta_1$ оказывается недостаточной для решения поставленной задачи. Положение края фундаментального поглощения E_0 имеет самую высокую чувствительность к составу, но простые методы вычисления его положения не позволяют установить состав с необходимой точностью.

По результатам измерений *ex situ* была разработана методика определения состава, основанная на физической модели структуры всей подложки. При определении концентрации цинка по этой методике обрабатывается широкий участок спектра вблизи края поглощения, что позволяет заметно повысить точность. При этом определяется не только состав, но и толщина пленки КЦТ, которая входит в модель как параметр. Точность определения концентрации цинка в $Cd_{1-x}Zn_xTe$ по этой методике составила 0.0025 мольной доли, что удовлетворяет технологическим требованиям. При расширении физической модели эта методика может использоваться в ростовых условиях (*in situ*) для контроля состава КЦТ в реальном времени.

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

ИНВЕРСИЯ ДАННЫХ ЯДЕРНОЙ МАГНИТНОЙ РЕЛАКСАЦИИ

М. А. Битехтина

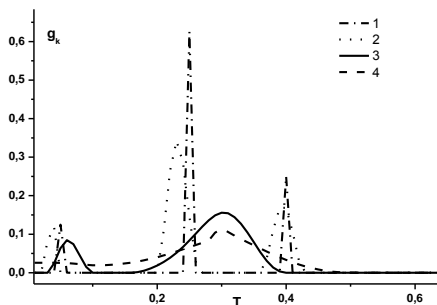
Сибирский государственный технологический университет

Явление ядерной магнитной релаксации широко используется в исследовании микроструктуры соединений. Часто релаксация не может быть описана одноэкспоненциальной зависимостью, тогда расшифровка релаксационных данных представляет собой важную и непростую задачу.

Одна группа методов анализа мультиэкспоненциального сигнала представляет экспериментальную кривую суммой нескольких экспонент (обычно меньше 5). Данные методы применимы, если мы знаем *a priori* сколько времен релаксации в образце, и требуется определить их значения и вес. При этом результат зависит от числа учитываемых экспонент.

Другие методы анализируют сигнал, предполагая непрерывное распределение времен релаксации. В данной работе применяется квазинепрерывное приближение [1,2], в котором регистрируемый сигнал (спад свободной индукции - ССИ) описывается как $f(t_i) = f_i = \sum g_k \exp(-t_i/T_k) + \varepsilon$, где суммирование ведется по всем $k = 1 \div N$, g_k – постоянные, T_k – времена релаксации, ε – шум, N – число времен релаксации (обычно больше 100). Инвертирование релаксационных данных проводилось с учетом неотрицательности g_k , регуляризирующего члена $(\sum C_k (g_{k-1} - 2g_k + g_{k+1}))^2$, суммирование по $k = 2 \div N-1$ при различных уровнях сглаживания (C_k) и шума (ε) при помощи пакета Matlab методом наименьших квадратов. ССИ получали наложением шума на трехэкспоненциальную кривую (спектр 1 на рисунке).

Показана неразличимость кривых ССИ, восстановленных из рассчитанных распределений времени релаксации для различных степеней сглаживания (на рисунке представлены распределения времен релаксации $2 \cdot g_k(T)$ при различных степенях сглаживания, спектры 2-4).



1. K. P. Whittall and A. L. MacKay / J. Mag. Res., 84, 134-152 (1989).

2. G. C. Borgia, R. J. S. Brown, P. Fantazzini / J. Mag. Res., 132, 65-77 (1998).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСС БИОЛОГИЧЕСКИХ НАНООБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ТЕРАГЕРЦОВОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

М. С. Вагин

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

После расшифровки генома человека на первое место в биологии вышла наука о белках (протеомика). В организме человека существует огромное количество самых разнообразных белков, строение и функции которых предстоит выяснить. На первом этапе исследования необходима информация об их размере и массе. Очевидно, что работа с биологическими объектами требует неразрушающих методов исследования. В этом смысле метод терагерцовой лазерной абляции [1] представляется довольно перспективным. Этот метод при определении размеров частиц очень удобен, прост и точен, а одним из главных его преимуществ является то, что он не разрушает структуру молекул исследуемого образца.

Для объектов одной природы (белков, ДНК и пр.), размеру можно сопоставить массу. В дальнейшем, имея множество градуировочных кривых для различных классов объектов, можно будет, измеряя размер какого-либо нового вещества, предсказать какой массой он обладает. Также важна скорость, точность и удобство проведения эксперимента.

К настоящему моменту были проведены исследования фрагментов ДНК λ -hind. Исследовались 4 монодисперсные фракции этой ДНК с известными массами. Полученное соотношение массы и диффузионного размера фрагментов хорошо аппроксимируется функцией пропорциональной диаметру в кубе. Такая аппроксимация представляется естественной, если представить исследуемые частицы шариками постоянной плотности. Исследования других биологических объектов продолжаются.

1. A.K. Petrov, A.S. Kozlov et. al. Nondestructive transfer of complex molecular systems of various origin into aerosol phase by means of submillimeter irradiation of free electron laser (FEL) of the Siberian center for photochemical research // Nuclear Inst. and Methods in Physics Research (575) p.68 (2007).

Научный руководитель – канд. хим. наук А. С. Козлов

ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО АІ

В. В. Вантеев, М. А. Федосова, А. Х. Ярулин
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

Проведены исследования структуры образцов поликристаллического алюминия марки А85 на стадии предразрушения (образования шейки) и разрушения (разрыва). Исходные образцы имели полированную, гладкую поверхностную структуру. Поверхность деформированных материалов имеет ярко выраженную неоднородность структуры. Поверхность образца приобрела отчетливо выраженный рельеф, что обусловлено разворотом зерен вдоль своей оси в процессе деформирования материала.

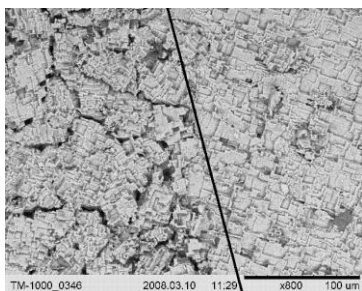


Рис. 1. Структура материала в зоне локализации $D=80$ мкм

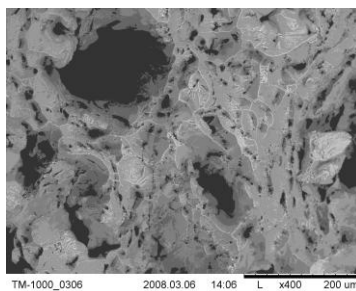


Рис. 2. Структура материала в месте разрыва

Получены данные о структуре материала до места образования «шейки» и непосредственно в зоне образования «шейки». Были выявлены места «растрескивания» материала. При этом границы зерен и скоплений начинают играть более активную роль, что отражается на рисунке более четкими темными ломаными линиями (рис. 1).

При исследовании мест разрыва образцов наблюдались все характерные признаки присущие вязкому разрушению. На изображениях, полученных с использованием микроскопа НІТАСНІ ТМ 1000 наблюдаются характерные «ямки» вязкого разрушения (рис. 2).

С помощью оптического и электронного растрового микроскопа были получены данные о структуре зерен деформированных образцов поликристаллического алюминия. Получены данные о фрагментации зерна поликристаллического алюминия, полученной в результате деформирования образцов.

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук Н.В. Зариковская

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ НАНОПОРОШКОВ ГЕКСАФЕРРИТА

М. С. Гартен, А. Е. Леухина
Томский государственный университет

Современная радиоэлектроника испытывает повышенную потребность в магнитных материалах, активно взаимодействующих с микроволновым излучением. Использование магнитных материалов в этом частотном диапазоне позволяет снизить размеры, энергопотребление. Одним из критериев эффективного применения магнитных материалов в технике является уровень их магнитных свойств.

Вид частотных зависимостей магнитной проницаемости $\mu^*(\omega) = \mu'(\omega) - i\mu''(\omega)$ материалов существенным образом зависит от статических магнитных характеристик: намагниченности насыщения и магнитной анизотропии, которые определяются кристаллографической структурой, химическим составом, температурой и другими факторами. В [1] предложен ряд соотношений, использующих связь статических и динамических характеристик, для оценки границ применимости магнитодиэлектриков в частотной области электромагнитного излучения.

Расчет предполагаемых значений мнимой и действительной составляющих магнитной проницаемости можно провести, используя теорию обобщенной проводимости композиционных смесей [2]. Кроме того, на $\mu'(\omega)$ влияет степень измельчения исследуемого материала. Важно подчеркнуть, что теория композиционных смесей не дает корректных соотношений, учитывающих перераспределение вкладов поверхностной и объемной анизотропии.

В данной работе исследуются композиты на основе нанопорошков Co_2Z с разным временем механической активации. Измерения магнитной и диэлектрической проницаемостей (ее действительной и мнимой части) полученных образцов производились резонаторным методом с помощью векторного анализатора цепей E8363B фирмы Agilent Technologies в диапазоне частот 5–13 ГГц.

В результате проведенных исследований получены динамические электромагнитные характеристики композиционных материалов на основе эпоксидной смолы и порошка гексаферрита Co_2Z , построены электрические и магнитные спектры данных материалов.

1. Смит Я., Вейн Х. Ферриты. – М.: Изд-во ИЛ, 1962. 504 с.

2. Алексеев А.Г., Корнев А.Е., Эластичные магнитные материалы. – М.: Химия, 1976.

ВЛИЯНИЕ ТЕКСТУРЫ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ГЕКСАФЕРРИТОВ НА НЕВЗАИМНЫЕ СВОЙСТВА ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННЫХ ВОЛНОВОДОВ В ДИАПАЗОНЕ КВЧ

А. Я. Гафаров

Московский энергетический институт (технический университет)

Известные особенности гиромагнитного резонанса (ГМР) в поликристаллических гексаферритах [1] позволяют, со своей стороны, судить о текстуре поликристаллических МОФ при их исследовании, при измерении параметров ГМР и, конечно, при применении ферритов в невзаимных устройствах, в частности, в вентилях. При этом оценка пригодности ферритов для применения в вентилях на заданной частоте только по значениям эффективного поля анизотропии, ширины полосы ГМР, намагниченности насыщения и другим традиционным параметрам ферритов, является явно недостаточной. Необходимо знать качество текстуры феррита, которое очень резко влияет на невзаимные свойства вентиляей, особенно при работе вблизи естественного частоты ГМР, наиболее интересной для практики.

В работе представим результаты исследования поликристаллического гексаферрита марки 04СЧА12. Для него по данным измерений на частотах 77,06 ГГц и 70,6 ГГц имеем соответственно значения поля анизотропии 24,5кЭ и 24,2кЭ, а ширины полосы - менее 1,3кЭ и 0,5кЭ. Эти данные уже указывают на несовершенство текстуры феррита - имеем отличие ширины полосы на разных частотах в 3 раза! Поэтому вентили, даже при замечательных обычных параметрах ($4\pi M_s=2360\text{Гс}$; $H_c=2\text{кЭ}$; $B_g=2350\text{ Гс}$; $\epsilon=15,6$; $\text{tg}\delta\epsilon=6\cdot 10^{-4}$), из этого феррита не получались. В стандартном макете резонансного вентиля развязка составляла порядка 50 дБ и мало отличалась при встречном распространении волн в волноводе.

Этот вывод о плохой текстуре исследованного образца феррита подтверждается и косвенными данными измерений (частотная зависимость N_A и ΔN , асимметрия кривой ФМР), и (здесь - особый интерес!) фактом создания вентиля с вполне удовлетворительными параметрами на основе композита из этого же феррита в аналогичной конструкции прибора.

1. К.М.Поливанов, Б.П.Поллак. Резонансные характеристики магнитноодноосного поликристаллического феррита в поле СВЧ. Известия АН СССР. Серия физическая. 1964. Том 28. №3. С.470 - 480.

Научный руководитель - канд. техн. наук ст. науч. сотрудник
А. Е. Ханамиров

РЕНТГЕНОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ НИКЕЛИДА ТИТАНА С ПОКРЫТИЯМИ ИЗ МОЛИБДЕНА, МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ИОННЫМИ ПУЧКАМИ

М. Г. Дементьева, Е.Ю. Гудимова, Л.Л. Мейснер

Томский государственный университет

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Формирование тонких покрытий с нано- и субмикронными структурами, а также модификация тонких поверхностных слоев никелида титана ионно-лучевыми методами позволяет эффективно изменять его физико-механические и химические свойства [1]. Изучение структурно-фазовых состояний неравновесных систем, сформированных в результате ионно-лучевой обработки, возможно с использованием методов рентгеноструктурного анализа.

Целью работы является исследование структурно-фазовых состояний в приповерхностных слоях никелида титана с тонкими однокомпонентными покрытиями из молибдена, дополнительно модифицированными ионными пучками.

Покрытия из молибдена толщиной 200 нм наносили на плоские образцы из сплава $Ti_{49,5}Ni_{50,5}$ (далее – Mo200/TiNi). Магнетронное напыление проводилось на установке ВУ-1БС. Ионная модификация с использованием ионов Mo, C и Si образцов Mo200/TiNi выполнена на вакуумно-дуговом частотно-импульсном источнике «Диана-2». Рентгеновские исследования структурно-фазовых состояний фаз, формирующихся в покрытии, интерфейсе и приповерхностных слоях подложки из TiNi проводили с использованием симметричной и асимметричной (с изменением угла скольжения α от 12° до 3°) геометрических схем на дифрактометре ДРОН-7 в CoK_α -излучении.

Установлено, что после ионной модификации на рентгеновских дифракционных картинах образцов Mo200/TiNi присутствовали фазы B2 (TiNi) и ОЦК–Мо материала покрытия. Показано, что величина параметра решетки фазы ОЦК–Мо в исходном покрытии больше эталонного значения и изменяется в ионно-модифицированных образцах в зависимости от типа имплантированного иона. В результате ионно-лучевых обработок образцов Mo200/TiNi размеры D областей когерентного рассеяния в фазе ОЦК–Мо покрытий существенно уменьшились от $D \geq 100$ нм до $D \leq 50$ нм, означая формирование в них наноструктурных состояний.

1. Лотков А.И, Мейснер Л.Л., Гришков В.Н. ФММ. 2005. Т.99. Вып.2.с. 1-13.

ИССЛЕДОВАНИЕ В ДИАПАЗОНЕ КВЧ ГЕКСАФЕРРИТОВЫХ КОМПОЗИТОВ С ЦЕЛЬЮ МАРКИРОВКИ НОСИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

А. Е. Данилина

Московский энергетический институт (технический университет)

Данная работа связана с использованием гексаферритовых материалов для маркировки носителей информации, в частности, плоских и объёмных изделий, с целью дополнительной защиты от несанкционированных процедур. Для этого маркирующий материал, конкретно - композит с мелкодисперсным ферритовым порошком специально подобранного состава, вносится на незначительный участок защищаемого объекта или на какую-то основу в виде определённого рисунка и/или вкрапления. В результате на защищаемом объекте формируется маркировочная метка в виде кривой гиромагнитного резонанса.

Подбором состава порошка обеспечивается определённая форма маркировочной метки, которая фиксируется и является кодовой характеристикой данного защищаемого объекта. При этом возможен широкий спектр кодовых характеристик на базе таких констант ферритов, как частота и интенсивность гиромагнитного резонанса.

При идентификации ценных объектов маркировочную метку считывают с помощью специальной аппаратуры, в частности, с помощью измерителя частотных характеристик в диапазоне КВЧ. Предусматриваются комбинации двух возможных технологических решений: 1) нанесение на основу специального рисунка с определённой концентрацией феррита; 2) создание специальной основы с введением порошка в её состав. Повышенная защищённость метки обеспечивается, наряду с другими достоинствами, благодаря промышленным разработкам рядов гексаферритов для всего миллиметрового диапазона волн и широким исследованиям гексаферритовых композитов, в частности, в плёночном исполнении. При экспериментальных исследованиях использовались гексаферриты со значениями поля анизотропии $1 \div 3$ МА/м. Из них выполнялись как одно-, так и многокомпонентные плёнки. Представлены некоторые результаты исследований, проведенных в 3- и 4-мм диапазонах волн.

Научный руководитель - канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник
А. А. Китайцев

ВОДООТТАЛКИВАЮЩИЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО АЛЮМИНИЯ И ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ ЕГО ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Л. А. Журенкова

Санкт-Петербургский государственный горный институт
(технический университет)

Экспекаторным методом изучены водоотталкивающие свойства металлических порошков алюминия на основе пудры ПАП-2 и более грубодисперсного алюминия (ГОСТ 48-58-43), которые поверхностно модифицировались катионактивными препаратами (алкамоном-А и триамоном-Т) или обработкой в парах гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости (ГКЖ) [1]. Установлены закономерности изменения водоотталкивающих свойств и ряды усиления гидрофобности образцов в зависимости от программы наноструктурного модифицирования поверхности алюминия. То, что лидером по гидрофобности среди грубодисперсных порошков является образец вида $Al/T/A$ (получен последовательным молекулярным наслаиванием Т и А), а среди образцов на основе ПАП-2 – $Al/(A+T)$, обработанный смесью (А+Т), связано с наличием на поверхности исходного ПАП-2 стеариновой нанопленки толщиной в 2 монослоя [2].

Исследования структуры образцов методом сканирующей электронной микроскопии с приставкой EDX, позволяющей определять элементный состав поверхностного слоя, показало, что при смесевой обработке адсорбция катионактивного препарата в несколько раз выше. Из измерений энергий связи характеристических уровней методом рентгенофотоэлектронной спектроскопии следует, что после адсорбции паров воды увеличение энергии связи $O1s$ происходит только для наиболее гидрофильных образцов (исходный алюминий), а энергия уровня $Al2p$ практически не изменяется (дуплет 74,4 и 74,8 эВ; дуплет 72,0 и 72,4 эВ).

Работа выполнена по тематическому плану и заданию Федерального агентства по образованию на 2008 – 2012 г.г. (рег. № НИР 1.13.08). Благодарим Л.Махову из Университета Лейпцига за съемку РФЭ-спектров.

1. А. Г. Сырков, Д. С. Быстров, Л. А. Журенкова и др. //Цветн. металлы. 2009. №2. С. 79 - 82.

2. <http://www.icp.ac.ru/conferences/old/Nanochem/1/Kolesnikova.html>.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. А. Г. Сырков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НАНОРАЗМЕРНОГО ПОРОШКА ФЕРРИТА КОБАЛЬТА

С.В. Завгородний, Т.В. Меньщикова
Томский государственный университет

Наноразмерные порошки кобальтового феррита (CoFe_2O_4) являются весьма перспективными материалами для применения в качестве элементов устройств, записывающих информацию, кроме того, именно эта феррошпинель очень часто используется в медицинских целях: для транспорта лекарственных средств, стимулятора роста стволовых клеток.

Особенностью данного соединения является существенное отличие его анизотропии от прочих простых феррошпинелей, что связано с наличием двухвалентного иона кобальта с не полностью вырожденным орбитальным моментом.

Хорошо известно, что магнитная кристаллографическая анизотропия этого соединения существенно зависит от его химического состава: максимум анизотропии наблюдается для стехиометрического состава, при отклонениях от стехиометрии анизотропия резко изменяется.

В связи с этим задачей настоящего исследования является выяснение элементного состава наноразмерных порошков феррита кобальта, синтезированного методом механохимических реакций из солевых растворов в зависимости от режимов синтеза и последующей термообработки (проведения серии гомогенизирующих отжигов). Элементный состав определялся методом рентгенофлуоресцентного анализа при помощи следующих приборов: последовательный волновой спектрометр XRF-1800 (Shimadzu, Япония), энергодисперсионный спектрометр α -8000 LZX (Innov-X Systems, США).

Результаты измерений показали, что для всех синтезированных соединений наблюдается отклонение от стехиометрии. При увеличении времени механохимической обработки отношение Co/Fe сначала уменьшается, а потом увеличивается. Проведение гомогенизирующих обжигов приводит к изменению этого соотношения в направлении стехиометрии. Обсуждаются причины и механизмы наблюдаемых явлений.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Е. П. Найден

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР ПРИ ОСАЖДЕНИИ ПАРОВ МЕТАЛЛА НА ПОВЕРХНОСТЬ ПОДЛОЖКИ

А. М. Игошкин

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

В ряду наиболее важных проблем нанотехнологий стоит задача формирования тонких пленок при осаждении паров металла из газообразной фазы. При этом требуется, чтобы кристаллическая структура пленки содержала минимальное количество дефектов и имела однородную структуру на поперечных размерах в десятки сантиметров.

В настоящее время существует множество способов нанесения металлических покрытий, но ни один из них в полной мере не удовлетворяет вышеназванным требованиям. В то же время экспериментальные исследования ввиду данной проблемы связаны со значительными трудностями, как в материальном, так и во временном отношении и поэтому без помощи теоретических подходов недостаточно эффективны. Среди теоретических методов исследования самоорганизации паров металла на поверхности самым фундаментальным после прямых квантовых расчетов является метод молекулярной динамики. Этот теоретический подход и был использован для исследования осаждения нанопленок на поверхность подложки.

В настоящей работе методом молекулярной динамики было проведено численное моделирование физического осаждения меди из газообразной фазы на медную подложку. Для описания межатомных взаимодействий использовался многочастичный потенциал Воутера. Проведено исследование зависимости структуры осажденного слоя от температуры в широком диапазоне температур подложки (от 50К до 750К).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент И. Ф. Головнев

РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПЛЕНКИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБ

М. А. Каныгин

Новосибирский государственный университет

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

Методами рентгеновской спектроскопии с угловым разрешением проведено исследование структуры пленки ориентированных однослойных углеродных нанотрубок (УНТ). Образец был получен методом осаждения из газовой фазы [1] и предоставлен для совместного исследования доктором К.Ната (*Japan*).

Структура пленки ориентированных УНТ исследовалась методом растровой электронной микроскопии (РЭМ). Рентгеновские спектры поглощения были получены на Российско-Германском канале Берлинского центра синхротронного излучения (BESSY-II) методом полного квантового выхода электронов при фотоэффекте. Рентгеновские эмиссионные СК α -спектры были зарегистрированы на лабораторном рентгеновском спектрометре "Стеарат" с использованием органического кристалла-анализатора NH₄AP (бифталат аммония).

Анализ РЭМ микрофотографий показал высокую степень упорядоченности УНТ в пленке. В рентгеновских спектрах поглощения пленки обнаружено увеличение интенсивности π компоненты (~285.5 эВ) по сравнению с σ компонентой (~292 эВ) при увеличении угла падения возбуждающего излучения. В рентгеновских эмиссионных СК α -спектрах также наблюдается увеличение π компоненты (~283 эВ) по сравнению с σ компонентой (~276 эВ). Увеличение π/σ отношения свидетельствует о преимущественной ориентации трубок перпендикулярно подложке. Для анализа величины упорядоченности структуры пленки УНТ использовалась теоретическая модель, описанная в [2]. На основании сравнения теоретической модели с экспериментальными данными была определена средняя величина отклонения трубок от нормали к поверхности образца.

1. K.Hata, Don N. Futaba, K.Mizuno, T.Namai, M. Yumura, S.Iijima, Science, 306, 1362-1365,(2004).

2. A.V. Okotrub, L.G. Bulusheva, A.G. Kudashov, V.V. Belavin, S.V. Kolmogorov, Nanotech. Russ. 3, 191, (2008).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. В. Окотруб

ПОДПОВЕРХНОСТНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТОМОГРАФИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ДВОЙНОЙ ФОКУСИРОВКИ

А.Т. Коновальчик

Томский государственный университет

Исследование скрытых неоднородностей в различных средах необходимо в задачах контроля качества на производстве, обнаружении скрытых объектов в целях обеспечения безопасности при досмотре в аэропортах, в исследованиях внутренних органов в медицинских целях. Одним из направлений решения данных задач, является использование ультразвуковых волн. В настоящее время существует множество систем ультразвукового зондирования. Однако большинство из них ориентировано на контактное зондирование исследуемой среды. Также существуют ультразвуковые системы для обнаружения объектов в воздухе. В данной работе предлагается метод восстановления изображений неоднородностей под плоской границей раздела сред методом синтеза апертуры [1] с использованием двойной фокусировки данных о рассеянном поле.

Предлагается решение задачи восстановления распределения неоднородностей скрытых под плоской границей раздела сред по данным узкополосного многопозиционного бесконтактного ультразвукового зондирования. В работе применены аналитические, численные и экспериментальные методы исследований. Результатом работы является создание метода двойной фокусировки и экспериментальной установки для проверки предложенного метода. Метод двойной фокусировки имеет два основных этапа. В первую очередь производится фокусировка измеренных значений поля на поверхность среды с учётом скорости звука в воздухе. Далее полученные значения фокусируются в исследуемые точки среды с учётом скорости звука в среде.

Результаты работы могут быть использованы в промышленности в задачах контроля качества, в системах обеспечения безопасности и для медицинской диагностики.

1. Якубов В. П., Суханов Д. Я. Решение обратной задачи подповерхностной локации в приближении сильно преломляющей среды // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. Том L, № 4 – 2007.- С.329-338.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Д. Я. Суханов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ДИНАМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

М.В. Коробенков, В.А. Скрипняк, А.А. Козулин
Томский государственный университет

Для получения металлов и сплавов с объемной ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой широко применяются методы интенсивной пластической деформации (ИПД). Актуальной задачей, связанной с совершенствованием технологий, реализующих методы интенсивной пластической деформации, является изучение процессов формирования УМЗ структуры в объеме материалов методами компьютерного моделирования.

Целью данной работы является разработка модели, описывающей процессы деформации и эволюции структуры металлических образцов, при использовании модифицированного динамического метода равноканального углового прессования (РКУП). В рассматриваемом методе цилиндрический металлический стержень влетает в канал со скоростью в несколько сотен метров в секунду и претерпевает деформацию под действием инерционных сил.

Для изучения закономерностей эволюции напряженно-деформированного состояния материала при движении стержня через канал проводилось численное моделирование методом частиц с применением программного комплекса ANSYS Workbench 11 / AUTODYN.

Для описания пластического течения использована микродинамическая модель, учитывающая особенности деформационного упрочнения и чувствительность напряжения течения в широком диапазоне скоростей деформации, а также разупрочнения в результате динамической рекристаллизации и температурного разупрочнения. Изменение размеров зерна в зависимости от накопленной плотности дислокаций, степени пластической деформации и температуры оценивалось с помощью феноменологических соотношений.

Показано, что при прохождении стержня через канал в объеме материала формируется неоднородное распределение неупругих деформаций. Результаты моделирования согласуются с имеющимися экспериментальными данными. Показано, что разработанная вычислительная модель позволяет исследовать закономерности развития пластических деформаций, эволюции зерна при интенсивной пластической деформации при динамическом нагружении.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. Скрипняк

ИССЛЕДОВАНИЕ АМОРФНЫХ И КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ КРЕМНИЯ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

Е. Г. Мозулев

Институт физики полупроводников СО РАН
Новосибирский государственный университет

Интерес к полупроводниковым кластерам в диэлектрической матрице вызван проявлением в подобных гетероструктурах квантово-размерного эффекта уже при комнатной температуре. Прямое исследование структуры нанокластеров с применением электронной микроскопии сопряжено с методическими сложностями (это дорогостоящий, разрушающий, требующих больших затрат времени метод), поэтому актуально развитие неразрушающих методик контроля их структуры.

В настоящее время существуют плазмо-химические методы роста пленок SiN_x , содержащих аморфные кластеры кремния. Однако существует проблема кристаллизации этих кластеров. В данной работе исследуется кристаллизация кластеров в плёнках SiN_x при помощи отжига. Были сравнены плёнки одинакового состава без отжига, и после термической обработки. Также были сравнены плёнки, отожжённые при атмосферном давлении, с плёнками, отожжёнными при давлении 11 кбар. В исходных плёнках из анализа спектров комбинационного рассеяния света были обнаружены аморфные кластеры кремния. После отжига нанокристаллы были обнаружены в плёнках с высоким изначальным содержанием избыточного кремния в них, в то время как в плёнках с низким содержанием кремния нанокристаллов не обнаружено. Всё ещё остаётся невыясненным количественное содержание нанокристаллов кремния в плёнках и распределение их по размерам. Существует модель сильно пространственной локализации [1], описывающая вид спектров в зависимости от размеров кристаллитов. Необходимо провести математическую обработку экспериментальных спектров, используя данную теорию. Данный анализ направлен на исследования влияния высокого давления на структуру нанокристаллов.

1. H. Richter, Z. P. Wang, L. Ley, Solid state commun., 39, 5, 625 (1981)

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

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОМ ЭПР НОВЫХ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ $\text{Li}_2\text{Zn}_2(\text{MoO}_4)_3$, СОДЕРЖАЩИХ ПРИМЕСИ ИОНОВ Cr

Н. А. Небогатикова, А. А. Павлюк

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

Сейчас в Институте неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН активно ведутся работы по синтезу и исследованию свойств новых сцинтилляционных кристаллов. Для характеристики кристаллов применяется комплексный подход с использованием методов ЭПР-спектроскопии, рентгеноструктурного анализа (РСА), измерений оптического поглощения и времени жизни люминесценции. Изучаются как чистые, так и допированные ионами переходных металлов монокристаллы $\text{Li}_2\text{Zn}_2(\text{MoO}_4)_3$.

В работе исследуются методом ЭПР кристаллы литий-цинкового молибдата, содержащие в качестве примеси ионы Cr. Спектры кристаллов снимаются на автоматизированном спектрометре Varian E-109, при комнатной температуре и частоте 9,5 ГГц. Эталон по g-фактору является дифенилпикрилгидразил. Ориентировка кристаллов проводится на основе данных, полученных на дифрактометре и методами РСА.

Угловая зависимость спектров ЭПР при вращении кристаллов вокруг кристаллографического направления $[100]$ показана на *рис.1*. Шаг поворота составляет 5° . Экспериментально полученные спектры кристаллов $\text{Li}_2\text{Zn}_2(\text{MoO}_4)_3$ являются анизотропными, с эффективными спином $S_{\text{эфф}} = 1/2$ и компонентами g-фактора $g_{\parallel} = 1,9646$ и $g_{\perp} = 3,9394$. Наблюдаемые параметры спинового гамильтониана соответствуют случаю сильного кристаллического поля для реального спинового состояния ионов хрома $S = 3/2$ и $g_{\perp} = 1,9646$ и $g_{\parallel} = 1,9696$.

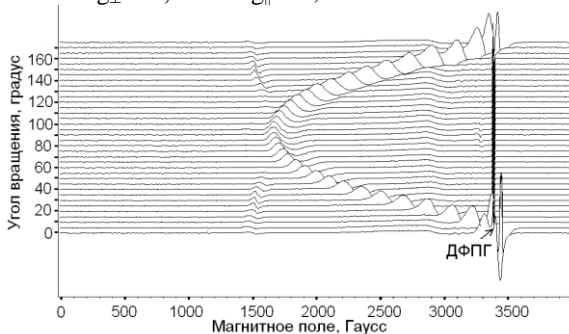


Рис.1 Угловая зависимость спектров ЭПР кристаллов $\text{Li}_2\text{Zn}_2(\text{MoO}_4)_3$
Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук В. А. Надолинный

ПЕРЕСТРОЙКА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПАЛЛАДИЯ В РЕАКЦИОННОЙ СРЕДЕ $\text{CO}+\text{O}_2$

В. В. Никулин

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Для установления механизмов действия реакционной среды на катализатор необходимо проводить исследования микроструктуры поверхности платиновых металлов в реакционной среде в широком интервале температур. Методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) был исследован процесс перестройки поверхности поликристаллического палладия ($\text{Pd}(\text{poly})$) в атмосфере $\text{CO}+\text{O}_2$ и температурах 500-1000 К. Установлено, что по мере увеличения температуры образца в атмосфере $\text{CO}+\text{O}_2$ на поверхности $\text{Pd}(\text{poly})$ формируются частицы, микрокристаллы и вытянутые волокна оксида палладия PdO . Детальный анализ микроснимков поверхности поликристаллического палладия и сопоставление с количеством поглощённого кислорода показывает, что по мере увеличения температуры образцов от 500 до 1000 К в атмосфере $\text{CO}+\text{O}_2$ микроструктура поверхности $\text{Pd}(\text{poly})$ определяется процессами образования и разложения оксида PdO . При 500-600 К заметных изменений морфологии поверхности не наблюдается, т. к. при данных температурах происходит хемосорбция O_2 и CO . При $T=700$ К кислород внедряется в решётку палладия, что сопровождается интенсивным окислением поверхности палладия с образованием частиц оксида PdO размером 50-100 нм. При $T=800$ К окисление палладия ускоряется, в результате чего на поверхности формируются микрокристаллы PdO размером 200-300 нм. Микрокристаллы формируют сплошной слой, который представляет собой сетчатую структуру. При $T=900$ К на поверхности этого слоя наблюдается формирование вытянутых волокон диаметром ~ 50 -100 нм и длиной до ~ 5000 нм. Переплетённые волокна формируют сплошной слой толщиной до ~ 5000 нм. При $T \geq 1000$ К существенно увеличивается скорость образования-разложения частиц PdO . В результате значительно возрастает концентрация подвижных атомов палладия на поверхности образца. Увеличение концентрации мобильных атомов металла приводит к ускорению перестройки поверхности поликристаллического образца. Так при $T=1000$ К на поверхности $\text{Pd}(\text{poly})$ наблюдается образование кристаллов палладия размерами 500-5000 нм. Кристаллы располагаются упорядоченно и формируют сплошной слой, покрывающий всю поверхность палладия.

Научный руководитель – канд. хим. наук А. Н. Саланов

АНТИФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СМАЗОК С ДОБАВКАМИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОВ ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА

И. В. Плескунов, Д. С. Быстров
Санкт-Петербургский государственный горный институт
(технический университет)

Методом акустической эмиссии в ультразвуковом диапазоне (30 - 300 кГц) измерены интегральные показатели трения (D) и выявлены зависимости D от величины давления (P) стандартной пары трения металл-металл для различных смазок на основе индустриального масла И-20, содержащих в качестве присадок (наполнителей) наноструктурированные порошки на основе алюминия, железа, меди и никеля. Получены уравнения, описывающие функциональные зависимости $D = f(P)$. Установлено, что наиболее сильно из изученных наполнителей понижают показатель D (трение) порошки, модифицированные в поверхностном слое наноструктурами алкамона и триамона (катионоактивными препаратами) при концентрации наполнителя в смазке 0,5-1,0 мас.%. Снижение D в 3-7 раз, как правило, соответствует образцам смазки с параболической зависимостью D от P , с наибольшим отклонением от линейной взаимосвязи между D и P на участке быстрого роста D («восходящая ветвь»), предшествующем режиму «сухого трения». Исходные порошки металлов, используемые для приготовления присадок в смазке, обрабатывали по различной программе парами алкамона (А), триамона (Т) и гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости (ГКЖ) перед введением в И-20. Для каждого металла была получена серия образцов: М/ГКЖ, М/А, М/Т, М/Т/А и М/(А+Т), где М = Al, Fe, Ni, Cu. Опыты показали, что для присадок на основе карбонильных металлов (Ni, Fe) понижение D в смазке происходит по мере гидрофобизации присадки в последовательности М/(А+Т), М/ГКЖ, М/А, М/Т, М, М/Т/А, где присадка М/(А+Т) получена смесевой обработкой порошка металла, а М/Т/А – последовательным молекулярным наслаиванием препаратов Т и А на металл. Также найдены закономерности уменьшения D для присадок на основе меди (ПМ) и Al-пудры ПАП-2. Для лучших смазок с присадкой Al/(А+Т), восходящая ветвь кривой $D = f(P)$ удовлетворительно описывается параболическим уравнением вида: $D = 0,95P^2 - 1630$, где P в МПа. Для смазки с исходной Al-пудрой и самого масла И-20 соответствующие зависимости являются линейными. Для смазки с лучшей присадкой на основе железа: $D = P^2 - 960$. Для смазки с присадками Cu/(А+Т) и Cu/А справедливы уравнения общего вида $D = aP^2 + bP + c$.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. А. Г. Сырков

СЕЛЕКТИВНОЕ ОКИСЛЕНИЕ МЕТАНОЛА НА V_2O_5/TiO_2 : *in situ* ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ РФЭС И МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

А. А. Сараев

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Оксид ванадия является эффективным катализатором в реакциях селективного окисления углеводов, альдегидов и спиртов [1,2]. В частности было установлено, что катализаторы V_2O_5/SiO_2 проявляют высокую активность и селективность в реакции окисления метанола в формальдегид. С другой стороны окисление метанола на катализаторах V_2O_5/TiO_2 протекает по двум конкурирующим маршрутам, приводящим к образованию диметоксиметана (ДММ) и метилформиата (МФ). Интересно отметить, что высокая активность и селективность по данным продуктам наблюдается в мягких условиях. Распределение продуктов реакции сильно зависит от температуры – при низких температурах 70-100°C основным продуктом реакции является ДММ с селективностью 90-95%. Увеличение температуры приводит к резкому снижению селективности по ДММ. Соответственно, в температурном диапазоне 120-150°C основным продуктом реакции является МФ с селективностью 85% при 150°C.

В данной работе представлены результаты исследования механизма реакции селективного окисления метанола на монослойном катализаторе V_2O_5/TiO_2 методами температурно-программируемой реакции (ТПР) и *in situ* РФЭС. Эксперименты проводились при давлении 0.25 мбар. В спектрах ТПР наблюдались пики выделения ДММ и МФ с максимумами в районе 95 и 130°C, что хорошо согласуется с результатами каталитических исследований. Методом *in situ* РФЭС удалось установить механизм протекания реакции окисления метанола на поверхности катализаторов V_2O_5/TiO_2 . Показано, что в процессе реакции происходит обратимое восстановление катионов V^{5+} до V^{4+} и V^{3+} , это говорит о том, что кислород, находящийся в структуре оксида ванадия, непосредственно участвует в реакции окисления метанола. Фактически в данной системе реализуется классический механизм Марс-ван-Кревелена [3], в основе которого лежит восстановление ванадия метанолом и его последующее реокисление кислородом газовой фазы.

-
1. G. Buska, A.S. Elmi, P. Forzatti, J. Phys. Chem. 91 (1987) 5263.
 2. P. Forzatti, E. Tronconi, G. Buska, P. Tittarelli, Catal. Today 1 (1987)209.
 3. P. Mars, D.W. van Krevelen, Chem. Eng. Sci. 3 (1954) 41.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ АТОМНОЙ СТРУКТУРЫ НАНОПОРОШКА YSZ

Е. Ю. Соболева

Уральский Государственный Технический Университет - УПИ
Институт электрофизики УрО РАН

Неоднородность структуры наночастиц ZrO_2 и 3-YSZ исследовались методом дифракции синхротронного излучения [1]. Анализ показал, что образцы ZrO_2 содержали $m-ZrO_2$ с ОКР ~ 45 нм и $t-ZrO_2$ с ОКР ~ 15 нм. Размеры ОКР в образцах YSZ составляли величину ~ 25 нм для m - и ~ 35 нм для t - фаз. Наночастицы YSZ исследовались методами структурной электронографии и просвечивающей электронной микроскопии [2]. Электронограммы не соответствовали ни случаю монокристалльной дифракции, ни случаю поликристалла или текстуры. Максимальное уширение рефлексов наблюдалось для частиц со средним размером кристаллитов $\langle d \rangle = 25-45$ нм. При значениях $\langle d \rangle = 5-10$ нм уширение рефлексов было меньше, что в наибольшей степени было характерно для отражения t - (220). Для объяснения результатов была предложена модель «кентавра» (сосуществования нескольких структурных модификаций в пределах одной наночастицы).

В данной работе просвечивающей электронной микроскопией высокого разрешения исследовался 9-YSZ, полученный лазерным испарением. Средний размер частиц составлял 25 нм. Среди частиц нанопорошка было обнаружено небольшое количество частиц, в которых четко просматривалась моноклинная и тетрагональная фазы, хотя по РФА исследуемый образец имеет только кубическую фазу. Анализ атомной структуры исследуемых образцов показал большое количество точечных дефектов внутри частиц и краевых дислокаций. Энергодисперсионный элементный анализ показал, что частицы отличаются по химическому составу друг от друга (от 4 до 15 mol.%). Содержание оксида иттрия внутри некоторых частиц имеет неоднородное распределение.

1. Шевченко В.Я., Хасанов О.Л., Юрьев Г.С., Похолков Ю.П. Наблюдение особенностей структуры ультрадисперсного состояния диоксида циркония методом дифракции синхротронного излучения // ДАН. 2001. Т.377. №6. С.797-799.

2. Шевченко В.Я., Хасанов О.Л., Юрьев Г.С., Иванов Ю.Ф. Сосуществование кубической и тетрагональной структур в наночастице иттрий-стабилизированного диоксида циркония // Неорган. матер. 2001. Т.37. №9. С.1117 – 1119.

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук, А. М. Мурзакаев

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА КАТИОНА НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫХ ОКСИДОВ НА ОСНОВЕ ГАЛЛАТА ЛАНТАНА LaGaO_3

С. В. Ти, Ю.Г. Матейшина

Новосибирский государственный университет
Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

Оксидные системы на основе галлата лантана LaGaO_3 являются суперионными проводниками с высокой кислородной проводимостью. Чистый галлат лантана имеет структуру искаженного перовскита ABO_3 и претерпевает фазовый переход при нагревании. Допирование в А- и В-подрешетках приводит к резкому росту проводимости, а также к исчезновению или изменению характера фазового перехода. Ранее было показано [1], что проводимость слабодопированных твердых растворов проходит через резкий максимум при изменении размера катиона А, когда параметр кристаллической решетки и фактор толерантности меняются незначительно. Целью настоящей работы является исследование влияния катионного замещения в А и В подрешетках на структуру и ионную проводимость систем $\text{La}_x\text{A}_{1-x}\text{Ga}_y\text{B}_{1-y}\text{O}_{3-d}$ (А=Ca, Sr, Ba; В=Mg).

Методами стандартного твердофазного синтеза, интенсивной механической активации в шаровой мельнице АГО-2 и цитратного синтеза получены системы: LaGaO_3 , $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{GaO}_{3-d}$ (M = Ca, Sr, Ba; x = 0.2), $\text{LaGa}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{O}_3$ и $\text{La}_{0.8}\text{M}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{O}_{3-d}$ (M = Ca, Sr, Ba). Химический состав синтезированных систем установлен методами элементного анализа. Фазовый состав и кристаллическая структура изучались методом рентгенофазового анализа с построением математической модели для определения долей основной и примесной фаз. Для всех исследуемых образцов измерена ионная проводимость методом комплексного импеданса, разделены вклады объемного и межзеренного сопротивлений. Системы, полученные методом цитратного синтеза, состоят из наноразмерных частиц, на что указывает значительное уширение пиков рентгеновской дифракции. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии определены температуры фазового перехода. С помощью сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии установлены форма и размер частиц.

1. H. Hayashi, H. Inaba, N.G. Lan, Structural consideration on the ionic conductivity of perovskite-type oxides, *Solid State Ionics* 122 (1999) 1-15

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук С.В. Цыбуля,
д-р хим. наук Н.Ф. Уваров

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СВС-Аз ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНО- И МИКРОПОРОШКА НИТРИДА ТИТАНА

Ю.В. Титова, Л.А. Шиганова

Самарский государственный технический университет

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез с применением неорганических азидов (СВС-Аз) один из перспективных способов получения керамических материалов [1]. По сравнению с обычными методами этот процесс обладает многочисленными преимуществами, такими как малая продолжительность процесса, низкие энергозатраты и высокая степень чистоты синтезируемых продуктов.

Среди керамических материалов нитрид титана представляет особый интерес, благодаря высокой твердости, коррозионной, химической и износостойкости, хорошей термической стабильности, низкому удельному сопротивлению. Все предыдущие технологии СВС-Аз использовали системы «элемент - галоидная соль - азид натрия» [2]. В этом случае, размер частиц нитрида титана будет, соизмерим с размером исходного титана. В ходе данного исследования изучалась система «гексафтортитанат аммония - азид натрия», так как гексафтортитанат аммония содержит в своем составе титан, который в процессе горения азотируясь, переходит в нитрид. Реакция идет в газовой фазе, поэтому в системе возможно получение nano- и микроразмерного порошка нитрида титана. Это приобретает особое значение в наше время, которое называют временем начала третьей научно-технической революции - индустрии наносистем [3].

На основании исследований проведенных с помощью растрового электронного микроскопа Jeol, расшифровке рентгенограмм, сделанных на приборе Дрон-2, и результатов химического анализа на определение содержания азота по методу Кьельдаля можно сделать вывод о том, что в системе «гексафтортитанат аммония - азид натрия» образуется nano- и микропорошок нитрида титана состава TiN.

1. Амосов А.П., Бичуров Г.В. Азидная технология СВС микро- и нанопорошков нитридов. М.: Машиностроение -2007.- 526 с.

2. Бичуров Г.В. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нитридов с применением азидов натрия и галоидных солей: Дисс. докт.техн.наук. - Самара СамГТУ, 2003.- 487 с.

3. Андриевский, Р.А. Наноструктурные материалы: Учеб. пособие для студ. Высш. учеб. заведений – М.: Издательский центр «Академия», 2005.- 192 с.

Научный руководитель - д-р техн. наук, проф. Г. В. Бичуров

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ЛАЗЕРНОЙ СУБМИЛЛИМЕТРОВОЙ АБЛЯЦИИ НАНОСИСТЕМ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

А.С. Уницын

Институт химической кинетики и горения СО РАН

После обнаружения явления мягкой неразрушающей абляции [1], появилась возможность разработки принципиального нового метода измерения размеров наночастиц и наносистем различной природы.

Явление мягкой неразрушающей абляции состоит в переносе макромолекул с твердой подложки или из раствора в аэрозольную фазу под действием лазерного излучения терагерцового диапазона с сохранением их исходных свойств. Особенностью данного излучения является малая энергия кванта, $\sim 0,01$ эВ, что сравнимо с энергией водородных и Ван-дер-Ваальсовых связей, однако много меньше энергии ковалентных связей. Таким образом, терагерцовое излучение не способно одним квантом разрушить сильные внутримолекулярные взаимодействия и диссоциировать молекулы, что позволяет переносить их в аэрозольную фазу без нарушения первичной структуры.

Первоначально применимость метода мягкой абляции была проверена на ряде биологических объектов [1]. Целью данной работы являлась проверка применимости мягкой абляции для исследования дисперсного состава неорганических наносистем.

В работе представлены методика и результаты исследований дисперсного состава продуктов лазерной субмиллиметровой абляции кластеров алюминия Al_{30} , ультрадисперсных алмазоуглеродного и SiO_2 порошков. Исследования проводились с помощью диффузионного спектрометра аэрозолей, в качестве источника терагерцового излучения использовался лазер на свободных электронах Сибирского центра фотохимических исследований. Полученные результаты сопоставлены с данными измерений этих же образцов другими известными методами.

1. A.K. Petrov et. al. Nondestructive transfer of complex molecular systems of various origin into aerosol phase by means of submillimeter irradiation of free electron laser (FEL) of Siberian center for photochemical research // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 2007. - A575. - P.68–71.

Научный руководитель – канд. хим. наук, А. С. Козлов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ИХ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ

В. А. Устюгов

Сыктывкарский государственный университет

Интерес научного сообщества к нанокристаллическим материалам в последние годы связан с бурным развитием теории описания наноразмерных объектов, и особенно с практическим использованием их уникальных свойств.

Компьютерная модель, созданная нами, может быть полезна при теоретическом изучении динамики намагниченности тонких пленок в различных внешних условиях. В программе реализуется численное решение уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта[1] с учетом обменного взаимодействия, магнитокристаллической анизотропии, внешнего магнитного поля и тепловых флуктуаций. Для придания модели большей реалистичности параметр обмена в случае системы гранул между каждой парой частиц устанавливается случайно[2].

Существует теоретический подход, позволяющий связать структуру тонкой пленки и ее проводимость с результатами ФМР-спектроскопии[3]; если сопоставить эти данные с компьютерным экспериментом, можно получить новую информацию о процессах релаксации в нанокристаллическом ферромагнетике.

Для осуществления этих целей при моделировании была учтена зависимость параметра диссипации от температуры, намагниченности насыщения и т.д.

Таким образом, разработанная компьютерная модель позволяет исследовать магнитную динамику нанокристаллических пленок в различных внешних условиях с возможностью гибкой настройки внутренних параметров вещества по экспериментальным данным, а также предсказывать поведение намагниченности во внешних полях.

1. J. Fiedler, T. Schrefl. Micromagnetic modeling – the current state of the art.

2. N. J. O. Silva, V. S. Amaral, L. D. Carlos *et al.* Evidence of random magnetic anisotropy in ferrihydrite nanoparticles based on analysis of statistical distributions.

3. А.Н. Волошинский, Н.В. Рыжанова, Е.А. Туров. О ширине линии ферромагнитного резонанса в металлах и сплавах, Письма в ЖЭТФ, том 23, вып. 5, стр. 280-283

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук, доцент Л.С. Носов

СТРУКТУРА МАТЕРИАЛА В МЕСТАХ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

М.А. Федосова, В.В. Вантеев, А.Х. Ярулин
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Проведены исследования структуры материала в местах локализации пластической деформации на образцах поликристаллического алюминия марки А85.

С помощью метода двухэкспозиционной спекл-интерферометрии были получены данные о местах локализации пластической деформации на образцах поликристаллического алюминия. Пространственное положение очагов локализованной деформации в образце представляет собой параллельные друг другу слои пластически деформируемого материала толщиной 3...10 мм. Число таких зон может быть различным.

В процессе деформирования поликристаллического Аl наблюдаются характерные для данного материала полосы скольжения (рисунок 1).

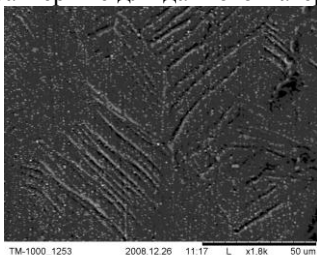


Рисунок 1. Полосы скольжения,
 $D=0,8$ мм

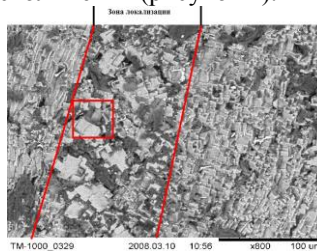


Рисунок 2. Зона локализации деформации, $D=0,1$ мм

Получены данные о структуре материала в зонах локализации деформации. Данные зоны совпадают по местоположению с зонами локализации деформации, выявленными методом двухэкспозиционной спекл-интерферометрией, что подтверждает ранее полученное утверждение о том, что повышенная концентрация деформации расположена в некоторых периодически расположенных зонах – зонах локализации. Зерна поликристалла в процессе деформирования поворачиваются и меняют свое направление, структура приобретает разориентированный характер.

На рисунке 2 представлены детальные исследования структуры зоны локализации. Хорошо видны структурные неоднородности.

Научный руководитель - к.ф.-м.н. Н.В. Зариковская

ФОРМИРОВАНИЕ МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННЫХ ФАЗ В ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРАХ. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ФМР

С. С. Якушкин

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Оксиды железа, нанесенные на силикагель или оксид алюминия, являются катализаторами реакций селективного окисления сероводорода, дегидрирования этилбензола в стирол, конверсии водяного пара и др. Несмотря на растущий интерес к железосодержащим катализаторам, вопрос о влиянии природы предшественника активного компонента и носителя на состояние железа и каталитические свойства системы остается по-прежнему открытым.

Магнитные свойства веществ неразрывно связаны с их строением и поэтому чувствительны к изменению структуры и физико-химических свойств катализаторов. Принципиальные достоинства метода ФМР, как инструмента исследования магнитных свойств, заключаются в его высокой чувствительности и возможности проведения экспериментов в режиме *in-situ* в контролируемых условиях. Благодаря этому ФМР может служить уникальным инструментом для исследования процесса образования магнитных фаз.

Методом ФМР в режиме *in-situ* исследован процесс формирования активной фазы Fe-содержащих образцов, полученных методами ионного наплаивания и пропиткой по влагеомкости силикагеля и оксида алюминия растворами сульфата Fe(II). Исследование температурной зависимости резонансного поглощения показало, что при $T \sim 300$ К образовавшиеся магнитные частицы переходят в суперпарамагнитное состояние, когда энергия магнитной анизотропии становится меньше энергии тепловых колебаний. Наблюдаемые спектральные характеристики поглощения ФМР согласуются с данными методов ПЭМ и РФА об образовании при термообработке ферромагнитных частиц, размер которых составляет ~ 10 нм.

Таким образом, исследование методом ФМР позволило получить данные о формировании магнитоупорядоченных фаз в железосодержащих катализаторах.

Научные руководители – к.ф.-м.н. С. Н. Трухан,
к.ф.-м.н. О. Н. Мартянов

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СПЛАВА D1

А. Х.Ярулин, М. А.Федосова, В. В.Вантеев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Проведены исследования особенностей локализации пластической деформации сплава дуралюмина D1.

Получены данные о зависимости напряжение – деформация и ее стадийности. Общий характер зависимостей является типичным для поликристаллических металлов с ГЦК решеткой. С увеличением деформации угол наклона зависимости напряжение – деформация уменьшается. При этом видно, что с увеличением размера зерна поликристалла, величина напряжения понижается. Однако, следует отметить ярко выраженный зубчатый характер в поведении деформационной кривой и скорости изменения ультразвука. Данный факт можно объяснить с точки зрения теории релаксации – напряжение. Аналитические расчеты, проведенные по полученным данным, позволяют предполагать, что релаксации материала, зависит от скорости движения дислокаций и дислокационных скоплений:

$$\tau \approx \frac{S}{v} \quad (1)$$

где S – средний размер диаметра зерна $\langle D \rangle$, v – средняя скорость дислокационного скопления поликристаллического дуралюмина, $v \sim 10^{-2}$ м/с.

С использованием метода двухэкспозиционной спекл-интерферометрии получили данные о распределении векторов смещения по образцу в процессе растяжения с шагом 0,2 % деформации.

В процессе растяжения, образец постепенно вовлекается в процесс деформирования, что проявляется в изменении структур поверхности образца. Образуется одиночный очаг локализованной деформации.

После прохождения одиночного фронта через весь образец происходит перестройка структуры и полное разрушение первоначально упорядоченной структуры.

После прохождения стадии переходного участка формируется новая упорядоченная структура, соответствующая стадии с линейным законом деформационного упрочнения. При достижении значения деформации, соответствующей стадии формирования «шейки» (предразрушения) формируется стационарный одиночный максимум, соответствующий стадии предразрушения и разрушения.

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Н. В. Зариковская

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ КАРТИН ФЕРРИГИДРИТА И УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА

Д. А. Яценко

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Ультрадисперсные порошки гидроксидов и оксидов железа являются важными технологическими материалами в промышленности, в том числе и для катализа. В последнее время привлекает внимание ферригидрит, который характеризуется большой удельной поверхностью, поэтому и является перспективным для катализа (в качестве катализатора и как матрица для активных веществ), где стремятся использовать именно высокодисперсные материалы. Поэтому необходима информация о структуре дисперсных оксидов с размерами кристаллитов до нескольких нанометров.

Для исследования структуры порошковых образцов оксидов с наноразмерными частицами был использован рентгеновский дифракционный метод. Типичные дифракционные картины этих образцов характеризуются очень размытыми пиками (характерными для частиц с размерами примерно 2 нм), которые не поддаются в полной мере анализу стандартными методами. Поэтому целью работы является моделирование дифракционных картин ферригидрита и других ультрадисперсных оксидов железа с помощью специализированных алгоритмов для интерпретации экспериментальных рентгенограмм.

Для расчетов была использована ранее разработанная нами программа для моделирования дифракционных картин от ансамбля хаотически разориентированных нанокристаллических частиц [1]. Она позволяет рассчитывать значения интенсивности в каждой точке дифракционной картины с учетом диффузного рассеивания, не прибегая при этом к искусственному размытию брэгговских максимумов. Были рассчитаны дифрактограммы для ультрадисперсных порошков гематита ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), магнетита (Fe_3O_4), ферригидрита ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) для частиц различных форм и размеров, начиная от одной элементарной ячейки. Проведено сопоставление с экспериментальными данными.

Работа выполнена при поддержке проекта 2.1.1./729 программы «Развитие научного потенциала высшей школы» Минобрнауки РФ.

1. Д.А. Яценко, С.В. Цыбуля. Метод моделирования дифракционных картин для наноразмерных кристаллических систем. Вестник НГУ. Серия: Физика. 2008. Том 3, выпуск 4, с. 47 – 51.

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТИ СКОРОСТЕЙ ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЯ БИНАРНЫХ СИСТЕМ В ОКРЕСТНОСТИ КРИТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

С. В. Акимов

Институт химической кинетики и горения

Обычно считается, что поверхности скоростей зародышеобразования бинарных систем в окрестности критических условий обладают монотонным и непрерывным характером. Однако при рассмотрении результатов измерений скоростей нуклеации таких бинарных систем, как 1,3-пропандиол – шестифтористая сера, глицерин – диоксид углерода, было выявлено существование ранее неизвестных особенностей поверхности скоростей нуклеации. Эти особенности проявляются в потере монотонности поверхности скоростей нуклеации, т.е. в разрыве первой производной по поверхности. Задачей данного исследования было проанализировать гипотезу о том, что эти особенности связаны с фазовым переходом первого рода в конденсате.

В общем случае скорость нуклеации (J) может быть выражена формулой $J = B \exp(-\Delta G/kT)$. В этом выражении $\Delta G = n^*(\mu_{cond} - \mu_{vapor}) + f$, где n^* – количество молекул в критическом зародыше, f – избыточная свободная энергия критического зародыша, связанная с существованием границы раздела фаз, $(\mu_{cond} - \mu_{vapor})$ – разность химических потенциалов конденсированной и паровой фаз.

Причинами возникновения особенностей поверхности скоростей зародышеобразования являются: разрыв первой производной функции химического потенциала конденсата при переходе от одной фазы к другой; разрыв первой производной свободной энергии критических зародышей; изменение молекулярного коэффициента аккомодации при изменении фазового состояния.

Для выявления особенностей поверхности скоростей нуклеации, связанных с фазовыми переходами первого рода, использовался критерий A , представляющий собой общеизвестное условие монотонности и непрерывности функции. Критерий A может быть найден с помощью следующей формулы:

$$\left(\frac{\partial \ln J}{\partial T}\right)_{S, P_1, \dots, P_n} + \left(\frac{\partial \ln J}{\partial \ln S}\right)_{T, P_1, \dots, P_n} \left(\frac{\partial \ln S}{\partial T}\right)_{J, P_1, \dots, P_n} = A.$$

Результаты данной работы подтверждают гипотезу о связи фазовых особенностей поверхности скоростей нуклеации бинарных систем в окрестности критических линий и фазовых переходов первого рода.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. М. П. Анисимов

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОЭМИССИОННЫХ СВОЙСТВ МАССИВОВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБ

Ю. А. Альгаер

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

Одной из важных проблем современной технологии в области вакуумной электроники является создание плоских источников света большой площади, высокой яркости и с высоким коэффициентом преобразования электрической энергии в свет. Такие дисплеи могут использоваться для освещения, в качестве подсветки в жидкокристаллических дисплеях и телевизорах. Одним из возможных направлений в этих технологиях является использование эффекта полевой эмиссии катодов из углеродных нанотрубок (УНТ). Выдающиеся эмиссионные свойства нанотрубок определяются, в первую очередь, высоким значением аспектного соотношения, характеризующим эти объекты. Благодаря этому электрическое поле в окрестности кончика нанотрубки в сотни раз превышает среднее по объему значение, оцениваемое как отношение падения напряжения к величине межэлектродного промежутка. В результате эмиссионный ток из УНТ возникает при существенно более низких значениях приложенного напряжения по сравнению с традиционно используемыми эмиссионными катодами, изготовленными на основе макроскопических металлических острий. УНТ выгодно отличаются от металлических электронных эмиттеров высокой механической прочностью. Использование эмиттеров на основе УНТ вместо традиционных металлических подогрешных катодов позволит принципиально улучшить функциональные и эксплуатационные характеристики электровакуумных приборов. Автоэмиссионные свойства катодов зависят от их текстуры, состава и морфологии нанотрубок. Необходимо изучить, какие структурные параметры нанотрубчатых катодов являются определяющими для автоэмиссионных свойств, исследовать возможность влияния на эти параметры при изготовлении катодов.

В работе описана методика измерения автоэмиссионных свойств углеродных наноматериалов и методика обработки вольтамперных характеристик полевых катодов и характеристик светимости дисплейных сборок.

Елецкий А.В. Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства. // Успехи Физических Наук. – 2002. – 172. – С. 401-438.

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

ЭФФЕКТ ФАРАДЕЯ ДЛЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ, НАСТРОЕННОГО НА ЛИНИИ ПОГЛОЩЕНИЯ ПАРАМАГНИТНЫХ МОЛЕКУЛ

О. С. Асеев

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Настоящая работа посвящена разработке методики регистрации парамагнитных частиц на базе эффекта Фарадея для терагерцового излучения ЛСЭ (лазера на свободных электронах). В области перестройки лазера (120 – 200 мкм) находятся линии вращательных переходов многих свободных радикалов, играющих важную роль в процессах горения и других газофазных химических процессах. К ним относятся радикалы ОН, СN, СН, СН₂ и другие. В отличие от существующих оптических методов детектирования этих радикалов, использующих излучение лазеров видимого и УФ диапазонов, метод терагерцового ЛМР может быть пригоден и для изучения сильно рассеивающих сред, непрозрачных в видимом диапазоне.

В ходе работы были проделаны первые эксперименты, в которых мы зарегистрировали эффект изменения поляризации терагерцового излучения в магнитном поле при прохождении кюветы с газом NO. Лазер в этом случае был настроен на линию поглощения $A^2\Pi_{3/2} (J = 16.5 \leftarrow J = 15.5)$ во вращательном спектре NO. Также были поставлены подобные эксперименты и с пламенем водорода. В этом случае нас интересовал радикал ОН, и лазер был настроен на частоту вращательного перехода ОН, $A^2\Pi_{3/2} (J = 3/2 \leftarrow J = 1/2)$.

С целью определения оптимальных условий наблюдений эффекта Фарадея, отвечающих наибольшей чувствительности для радикалов ОН, в работе проделан теоретический анализ эффекта. Этот анализ включает в себя расчет расщепления линии ОН радикала в магнитном поле, вычисление комплексного показателя преломления среды, и расчет изменения поляризации терагерцового излучения после прохождения среды. В результате расчетов было показано, что максимальная чувствительность достигается в условиях, когда величина расщепления линии поглощения в магнитном поле равна ширине спектра ЛСЭ. В случае ОН радикала эти условия достигаются в поле около 30 кГс.

Научный руководитель – д-р хим. наук Е. Н. Чесноков

ВЛИЯНИЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ НА ГОРЕНИЕ НИТРАТНЫХ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ

И. С. Беспалов

Томский государственный университет
НИИ прикладной математики и механики

Объектами исследования в данной работе являлись твердотопливные композиции с коэффициентом избытка окислителя 0.85 на основе нитрата аммония марки ЖВ $D_{43} = (160 - 315)$ мкм, горюче-связующего вещества, представляющего собой полиуретановый каучук, пластифицированный нитроглицерином, и металлического горючего: порошков алюминия марок АСД-4 и Alex. В качестве каталитической добавки применялся диоксид кремния.

Целями данного исследования являлись изучение влияния соотношения металлического горючего на скорость горения и полноту сгорания твердотопливных систем, а также изучение влияния каталитической добавки на вышеуказанные характеристики последних.

При анализе экспериментальных данных было выявлено, что повышение содержания АСД-4 в составе металлического горючего приводит к снижению скорости горения как систем, содержащих диоксид кремния, так и систем не содержащих последнего. Данная закономерность не противоречит общепринятым представлениям об особенностях горения твердых ракетных топлив.

Для систем, не содержащих диоксид кремния, наблюдалось уменьшение полноты сгорания с повышением содержания АСД-4. В свою очередь, для систем, содержащих диоксид кремния, наблюдалась иная картина: полнота сгорания для систем на чистом металлическом горючем изменялась приблизительно на 4%, что попадает в ошибку эксперимента. Для смешанного металлического горючего наблюдалось повышение полноты сгорания на 14%, что не может быть включено в ошибку эксперимента.

При сравнении скоростей горения и полноты сгорания в присутствии каталитической добавки и без нее было выявлено следующее: влияние диоксида кремния наиболее отчетливо проявляется в системах, содержащих в качестве металлического горючего АСД-4. В этих системах по сравнению с системами, содержащими Alex, скорость горения увеличивается на 20%, а полнота сгорания – в 2.8 раза, что в несколько раз превосходит ошибку эксперимента.

Научный руководитель - канд. техн. наук Л. А. Савельева

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОМОГЕННОЙ НУКЛЕАЦИИ ПЕРЕСЫЩЕННОГО ПАРА ВИСМУТА

О. В. Боровкова

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Нуклеация металлов на сегодняшний день остается малоизученным процессом и имеет фундаментальное значение. Множество токсикологических и медицинских исследований посвящено влиянию наночастиц металлов и их оксидов на человека. Таким образом, изучение аэрозоля висмута представляет определенный интерес.

Была создана экспериментальная установка для исследования гомогенной нуклеации паров висмута из пересыщенного пара в поточном реакторе в диапазоне температур от 400 до 1000 °С. Получены температурные профили внутри реактора. С использованием диффузионного спектрометра аэрозолей были измерены температурные зависимости концентрации и размера частиц аэрозоля. Полученные частицы имеют размер от 7 до 70 нм, диапазон концентраций от 10^3 до 10^7 см⁻³. Результаты воспроизводимы с высокой точностью. Также при различных температурах методом просвечивающей электронной микроскопии была исследована морфология частиц на выходе из реактора. Результаты находятся в соответствии с данными спектрального анализа. Также было обнаружено, что крупные частицы, полученные при высоких температурах, представляют собой агломераты из мелких частиц. Также был произведен анализ частиц, оседающих в нуклеационной камере, с использованием сканирующего электронного микроскопа.

В будущем планируется измерить такие параметры нуклеации, как критический размер зародышей и скорость аэрозолеобразования.

Научный руководитель – д-р хим. наук А. А. Онищук

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ, СТРУКТУРЫ И СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ HN_3

Н. В. Будачёв, О. П. Коробейничев, А. А. Палецкий, Т. А. Большова
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Компьютерное моделирование процессов горения (таких как воспламенение, распространение пламён газовых и конденсированных систем) является мощным средством исследования их кинетики и предсказания их поведения при других начальных условиях, а также обнаружения некоторых новых эффектов, которые очень часто не удаётся определить при экспериментальных исследованиях.

В данной работе был создан и проверен механизм разложения азиды водорода (HN_3) при низких давлениях, описывающий экспериментальные данные по скорости свободного распространения пламени [1] и пределам самовоспламенения [2]. Выбранный для моделирования объект, HN_3 , является классическим представителем взрывчатых азотосодержащих веществ, кинетика распада которого до сих пор не до конца изучена.

Для моделирования экспериментальных данных [1, 2] использовалась программа PREMIX из пакета CHEMKIN и механизм из 60 реакций, в котором участвуют 14 частиц (H_2 , H , N , NH , NH_2 , NNH , NH_3 , HN_3 , N_3 , N_2 , Ar , N_2H_2 , N_2H_3 , N_2H_4). Механизм включает в себя полную кинетику разложения гидразина (N_2H_4) при низких и атмосферных давлениях [3] и 8 важных реакций с участием HN_3 и N_3 . С помощью механизма была рассчитана скорость и структура свободно распространяющегося пламени смесей HN_3/N_2 и HN_3/Ar при давлении 50 торр, а также рассчитаны пределы самовоспламенения HN_3 . Выяснено, что для пламени HN_3/N_2 30/70 ширина зоны промежуточных продуктов находится в соответствии с экспериментальным значением ширины светящейся зоны [1]. Анализ структуры пламени смесей HN_3/N_2 и HN_3/Ar показал, что при концентрации HN_3 в смеси 50-100% максимальное значение температуры во фронте пламени превышает термодинамически равновесное значение на 160-650 градусов (т.е. наблюдается “сверхадиабатика”).

Разработанный механизм может быть использован для описания горения и термического разложения систем, содержащих HN_3 в своём составе.

-
1. P. Laffitte, I. Hajal, J. Combourieu, The Symposium (International) on Combustion, pp. 79-85. The Combustion Institute. (1965).
 2. P. Gray, Nature. №16, V.179. (1957).
 3. A. A. Konnov, J. De Ruycck, Comb. and Flame, V. 124, pp. 106-126. (2001).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. О. П. Коробейничев

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЛАМЕНИ $\text{H}_2/\text{O}_2/\text{N}_2$ С ДОБАВКОЙ $\text{Fe}(\text{CO})_5$

И. Е. Герасимов

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Металлоорганические соединения переходных металлов как добавки в пламя представляют интерес с различных точек зрения. В частности, пентакарбонил железа известен как очень эффективный ингибитор процессов горения, кроме того, его добавка в сажистые пламена способствует уменьшению количества сажи в продуктах сгорания. При введении $\text{Fe}(\text{CO})_5$ в горючую смесь в пламени можно получать наночастицы железосодержащих соединений, обладающих требуемыми параметрами для практического применения. Таким образом, исследование механизма превращения $\text{Fe}(\text{CO})_5$ в пламенах является одной из важнейших задач. Ключевым шагом на пути к пониманию этого механизма является изучение структуры водородного пламени с добавкой $\text{Fe}(\text{CO})_5$.

Целью данной работы является получение новых экспериментальных данных по структуре предварительно перемешанного $\text{H}_2/\text{O}_2/\text{N}_2$ пламени с добавкой $\text{Fe}(\text{CO})_5$, в особенности по профилям концентраций соединений железа, а также сопоставление полученных данных с результатами численного моделирования.

Для изучения механизма реакций в пламенах применяется подход, основанный на экспериментальном измерении структуры пламени (профилей распределения температуры и концентрации соединений) и сопоставлении с данными моделирования, полученными с использованием кинетического механизма химических реакций на уровне элементарных стадий.

Профили распределения температуры в $\text{H}_2/\text{O}_2/\text{N}_2$ пламени, стабилизированном на плоской горелке, измерены с помощью Pt-Pt/10%Rh термпары диаметром 30 мкм. Профили концентраций соединений в пламени измерены методом молекулярно-пучковой зондовой масс-спектрометрии [1]. Численное моделирование профилей концентраций соединений в пламени проведено с помощью программ PREMIX и CHEMEKIN-II и механизма реакций, приведенного в литературе [2].

-
1. O.P. Korobeinichev et al., Comb. Sc. & Tech. 116-117 (1996) 51-67.
 2. Rumminger M.D. et al., Comb. Flame 116 (1999) 207-219.

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

АНАЛИЗ МАРИ СПЕКТРОВ В НЕНУЛЕВЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Т. И. Головская

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Эффекты квантовой когерентности в химических реакциях служат основой для создания экспериментальных методов для их изучения. МАРИ-спектроскопия позволяет изучать ион-радикальные пары со временем жизни единицы – десятки наносекунд [1].

МАРИ-спектр – это экспериментальная зависимость интенсивности флуоресценции образца от величины магнитного поля. Особенности МАРИ-спектра соответствуют пересечению уровней энергий радикальной пары. Под управляемым воздействием внешнего магнитного поля возможно снятие вырождения и как результат изменение интенсивности излучения в заданном направлении. Целью данной работы является анализ структуры МАРИ-спектра.

В работе рассматривается ион-радикальная пара с магнитными ядрами в обоих партнерах. Интерес к этой системе вызван возможностью извлечения из расщепления линии в ненулевом магнитном поле констант СТВ катион-радикала [2]. Этот результат не был подтвержден экспериментально. Для извлечения нужной информации из спектра необходимо провести тщательное моделирование исследуемой системы. В работе данная задача рассматривалась в мультипликативном базисе, который позволяет включить в расчет системы с неэквивалентными ядрами и расширить круг поиска нужных веществ. По результатам моделирования предложены кандидаты катион-радикалов для экспериментального наблюдения разрешенного спектра в ненулевом магнитном поле.

1. E.V. Kalneus, D.V. Stass, Yu.N. Molin, Typical application of MARY spectroscopy: radical ions of substituted benzenes, *Applied Magnetic Resonance* 28 (2005) 213-229

2. B.M. Tadjikov, D.V. Stass, Yu.N. Molin. MARY-Detected ESR Spectra of Radical Ions in Liquid Solutions for Systems with Crossing Zeeman Levels. *Chem.Phys.Letters* 260 (1996) 529-532.

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

ТЕОРИЯ СПИНОВОГО КАТАЛИЗА

О. А. Горбунов

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Спиновый катализ – это стимулирование радикальных реакций за счет изменения спинового состояния реагентов. В качестве спинового катализатора используются парамагнитные частицы, например, радикалы. Доказательство существования спинового катализа было получено в [1].

Следует различать динамический и релаксационный механизмы спинового катализа. Динамический механизм связан с образованием «триад» и совместной спиновой эволюцией в них. Релаксационный механизм реализуется преимущественно в гомогенном растворе, например, в геминальной рекомбинации РП, за счет изменения спинового состояния одного из партнеров после встречи с катализатором (обменная релаксация), что приводит к снятию спинового запрета. Общая теория рекомбинации геминальных радикальных пар была построена в [2].

В простом случае образования геминальных РП в триплетном и рекомбинации из синглетного состояний, и синглет-триплетных переходов, вызванных взаимодействием с катализатором, получено следующее выражение для вероятности геминальной рекомбинации [3]:

$$w = \frac{U_0(g(k_s) - g(k_s + 1/T))/4}{1 + U_0(g(k_s) + 3g(k_s + 1/T))/4}.$$

Функция $g(s)$ характеризует относительное движение радикалов. В частности, для диффузионного движения $g(s) = \frac{\tau_p}{1 + \sqrt{s\tau_p}}$. Величина

$k_s = \frac{\nu}{\tau_p} \frac{k\tau_p}{1 + k\tau_p} [C]$ характеризует реакцию радикалов с акцепторами, а

величина $1/T = \frac{\nu}{\tau_p} \frac{J^2\tau_p^2}{1 + J^2\tau_p^2} [C]/2$ – обменную релаксацию электронных спинов. В итоге вероятность рекомбинации зависит от концентрации катализатора по закону \sqrt{C} , что хорошо согласуется с экспериментом.

1. Step E.N., Buchachenko A.L., Turro N.J., *J. Amer. Chem. Soc.*, 1994, **116**, 5462-5466.

2. Purto P.A., Doktorov A.B., *Chem. Phys.*, 1993, **178**, 47 - 65.

3. Gorbunov O.A., Purto P.A., *J. Chem. Phys.*, 2009 (in press).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. П. А. Пуртов

ЗАВИСИМОСТЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ В ПРИБЛИЖЕНИИ ПЛАЗМЕННО- ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Х. А. Даракчан

Восточно-Сибирский государственный технологический университет

В данной работе рассмотрена одна из важнейших теплофизических характеристик – вязкость. Вязкое течение относится к явлениям переноса, знание которых необходимы при различных теплотехнических расчетах, в технологических процессах, для снижения энергоемкости процессов, увеличения выхода конечной продукции, селективности и экспресс-контроле с использованием растворов электролитов. Поэтому предметом изучения является исследование концентрационной зависимости динамической вязкости водных растворов электролитов.

В рамках плазменно-гидродинамической теории состояния ионов в растворах было получено уравнение, позволяющее без подгоночных параметров количественно определять динамическую вязкость водных растворов электролитов [1]:

$$\eta = \frac{N_A e^2 \exp\left(-\frac{\hbar\omega}{2k_B T}\right) \cdot 1,11 \cdot 10^{-12}}{6\pi\Lambda R_s \left(1 + \frac{R_s}{r_D}\right)}, \text{ сПз.}$$

Предложенная плазменно-гидродинамическая модель позволяет оценить вязкость любого электролита η , теоретически моделируя электропроводность растворов электролитов [2]. Анализ приведенных результатов показывает, что рассчитанные значения находятся в хорошем соответствии с литературными значениями [3] и с результатами экспериментов с точностью $\pm 2\%$. На примерах собственных и литературных данных доказана их применимость к водным растворам электролитов во всей области концентраций (от разбавленных до насыщенных растворов).

1. Балданов М.М., Мохосоев М.В. Состояние ионов в растворах электролитов в приближении ионной плазмы // Докл. АН СССР. – 1985. – Т. 284. – Вып.6. – С. 1384 – 1387.

2. Балданов М.-Б.М., Балданова Д.М., Жигжитова С.Б., Танганов Б.Б. Плазменно-гидродинамическая теория растворов электролитов и электропроводность // Докл. АН ВШ РФ. – 2006. – №1(6). – С.25-33.

3. Справочник химика. Т.Ш.-М.: Химия. – 1969. – 1005с.

Научный руководитель – канд. техн. наук С. Б. Жигжитова

МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАЗМЫ В ПРОЦЕССЕ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

Л. А. Захаров, М. А. Шулепов
Новосибирский государственный университет
Институт сильноточной электроники СО РАН

Начиная с самых первых экспериментов по импульсной лазерной абляции (ИЛА) органических полимеров, фундаментальные и прикладные исследования взаимодействия лазерного излучения с полимерными материалами приобрели важное значение для быстроразвивающейся области лазерных технологий. Одним из наименее изученных аспектов ИЛА органических полимеров является эффективное формирование плазмы в их продуктах абляции. Плазма при абляции органических полимеров играет негативную роль, снижая эффективность обработки материала и напыления полимерных пленок.

В данной работе предложена модель формирования плазмы при абляции полиметилметакрилата (ПММА) импульсами CO_2 лазера (длина волны 10,6 мкм) в присутствии воздуха. В эксперименте образцы облучались импульсами в вакуумной камере (давлении воздуха 2 Па – 1 атм). Визуализация лазерного факела выполнялась с помощью высокоскоростной ССD-камеры (характерное временное разрешение от 100 нс). Для измерения формы кратеров проводилась микроскопия поверхности мишеней после облучения. При атмосферных условиях наблюдалось образование яркого факела лазерной плазмы, свечение которого уменьшалось по мере уменьшения давления воздуха в камере.

Разработанная термохимическая модель лазерной абляции описывает поглощение излучения полимерными материалами с нагревом, деполимеризацией и абляцией в вакууме и в присутствии воздуха различного давления. Модель учитывает поглощение излучения облаком продуктов абляции за счет возбуждения колебательных степеней свободы испаренных молекул, нагрев продуктов абляции при протекании экзотермических реакций их разложения в присутствии кислорода с последующей тепловой ионизацией; развитие плазменного экранирования в лавинном процессе «ионизация – обратное тормозное поглощение – дальнейший нагрев и ионизация». Исследованы эволюция температуры облучаемого образца ПММА, динамика испарения. Выполнен анализ развития плазмы продуктов абляции. Моделирование с учетом плазменного поглощения дает хорошее согласие с экспериментом по глубине абляции за импульс.

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

КОНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СОПОЛИМЕРА ВИНИЛХЛОРИД-МАЛЕИНОВЫЙ АНГИДРИД КВАНТОВО- ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ РМЗ

А. А. Иванов, А. С. Кучевская
Томский государственный университет

Конформационный анализ полимеров при моделировании сталкивается со специфическими трудностями. Обычно размер структур, которые моделируются, допускает применение только метода силового поля, в котором учитываются электростатические взаимодействия, и то неудовлетворительно. Конформационный анализ субстратов в условиях вакуума приводит к переоценке внутримолекулярной стабилизации, что следует учитывать при сопоставлении с результатами эксперимента. Расчеты проводили с помощью комплекса программ GAUSSIAN98 и HyperChem (версия 7).

В работе сделан квантово-химический анализ и проведено экспериментальное изучение макромолекул чередующегося сополимера винилхлорид-малеиновый ангидрид (ВХ-МА) со степенью полимеризации $n=600$. Методом капиллярной вискозиметрии показано, что макромолекулы сополимера ВХ-МА в растворе в ТГФ свернуты и имеют расстояние между концами $h_{\text{жс}}=0.770 \cdot 10^{-5}$ см. В этилацетате это расстояние еще меньше и равно $0,344 \cdot 10^{-5}$ см.

Квантово-химические расчеты конформационных состояний тех же макромолекул сополимера ВХ-МА показали, что в условиях вакуума макромолекулы также свернуты, но имеют расстоянием между концами $h_{\text{расч}}=1.053 \cdot 10^{-5}$ см.

Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных результатов геометрии макромолекул показал, что они хорошо соотносятся. Так, в растворе в ТГФ макромолекулы скручиваются, и экспериментально измеренное расстояние между концами уменьшается на 27%, а в растворе в этилацетате это расстояние уменьшается даже в 3 раза. В настоящее время нами проводятся квантово-химические расчеты геометрии макромолекул в растворителях, в которых проведены вискозиметрические измерения.

Т.о. методом квантово-химических расчетов можно прогнозировать геометрию макромолекул, не проводя трудоемких вискозиметрических измерений.

Научные руководители – д-р хим. наук, проф. А. Г. Филимошкин, канд. хим. наук, доц. Е. М. Березина

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

А. А. Квасов

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Разработка высокоэнергетических конденсированных систем на основе 5,6-(3',4'-фуразано)-1,2,3,4-тетразин-1,3-диоксида (ФТДО), синтезированного в Институте органической химии РАН им. Н.Д. Зелинского, включает изучение кристаллической структуры его молекулярных соединений с линейными нитраминами.

В работе исследовались параметры кристаллической структуры молекулярного соединения (МС) ФТДО и 2,4-динитро-2,4-дiazапентана (ДНП). МС – это сплав ФТДО и ДНП в соотношении масс 49/51.

К настоящему времени описаны физические и химические свойства МС, такие как: температура плавления, теплота образования, растворимость в различных растворителях и т. п. Установлено также, что горение МС при высоких давлениях неустойчиво, и это обстоятельство вызывает необходимость детального изучения структуры МС. Данные о таких исследованиях отсутствуют в доступной литературе, поэтому предпринята попытка восполнить этот пробел.

С использованием оптического микроскопа исследовалась структура поверхности МС на плоских срезах, а также форма кристаллов составляющих его веществ: ФТДО и ДНП – по отдельности.

На источнике синхротронного излучения Сибирского центра синхротронного и терагерцового излучения были проведены эксперименты двух типов: на станции дифрактометрии с использованием жёсткого рентгеновского излучения и на станции рентгеновской микроскопии и томографии.

С помощью методов рентгеновской дифракции получены дифракционные картины МС и ДНП, позволяющие судить о степени упорядоченности их кристаллической структуры. Методами рентгеновской микроскопии и томографии исследована внутренняя структура МС, найдена величина пористости. Ведётся поиск путей определить размеры и форму кристаллитов в МС.

Кроме того, получены спектры ФТДО, ДНП и МС в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах излучения. Спектры поглощения в инфракрасном диапазоне используются для определения однородности процентного соотношения отдельных веществ в объёме молекулярного соединения.

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

УГЛЕРОД НА ПОВЕРХНОСТИ И В ПОДПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ Pd(111): ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ

С. М. Козлов

Новосибирский государственный университет
Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН

В ходе каталитических процессов на Pd часто происходит побочное накопление углеродистых отложений, например, при дегидрировании метанола [1]. В случае образования атомов С на поверхности возможны два конкурирующих процесса: миграция атомов в подповерхностный слой и агломерация С на поверхности Pd. Миграция атомов С в подповерхностную область влияет на активность и селективность Pd катализаторов в реакциях гидрирования ненасыщенных углеводородов [2]. Агломерация атомов С в кластеры C_n является процессом, предшествующим образованию графитового монослоя, отравляющего катализатор.

В данной работе методом функционала плотности исследован С на поверхности и в подповерхностной области Pd(111) при различном покрытии поверхности от $\theta_C = 0.25$ до $\theta_C = 1$. Были рассмотрены все возможные позиции для адсорбции на поверхности и в подповерхностной области Pd(111) и установлено, что при малом покрытии ($\theta_C \leq 0.5$) поверхности атомы С наиболее стабильны в подповерхностных октаэдрических позициях. При большем покрытии ($\theta_C \geq 0.75$) наиболее стабильными являются кластеры C_n на поверхности Pd.

Скорости агломерации и миграции атомов С в подповерхностную область определяются энергиями активации этих процессов, которые также были исследованы при различном покрытии поверхности атомами С. Среди процессов агломерации для исследования было выбрано образование кластера C_2 , являющееся первым шагом в агломерации С на Pd(111). Было обнаружено существенное уменьшение энергий активации обоих процессов с увеличением степени покрытия, обеспечивающие быстрое протекание процессов уже при $\theta_C = 0.5$.

1. I. V. Yudanov, A. V. Matveev, K. M. Neyman, N. Rösch, J. Am. Chem. Soc. 130 (2008) 9342.

2. D. Teschner, J. Borsodi, A. Wootsch, Z. Revay, M. Havecker, A. Knop-Gericke, S. D. Jackson, R. Schlögl, Science 320 (2008) 86.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук И. В. Юданов, канд. хим. наук О. П. Пестунова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСОВ НИТРОКСИЛЬНЫХ РАДИКАЛОВ, КОВАЛЕНТНО СВЯЗАННЫХ С ЦИКЛОДЕКСТРИНОМ, МЕТОДАМИ ЯМР, СТАЦИОНАРНОГО И ИМПУЛЬСНОГО ЭПР

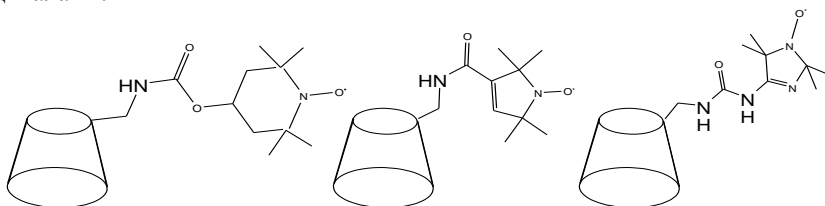
О. А. Крумкачева

Новосибирский государственный университет
Институт международный томографический центр СО РАН

Одним из новых и перспективных направлений супрамолекулярной химии является синтез комплексов нитроксильных радикалов с ковалентно связанными циклодекстринами. Такие системы могут использоваться для увеличения стабильности нитроксильных радикалов в живых организмах, а также для изменения скорости и хода химических реакций для веществ, образующих комплекс с такими системами.

На данный момент установлено, что нитроксильный радикал, связанный с циклодекстрином, может находиться в двух различных формах: 1) равновесие между комплексом с радикальным фрагментом вне полости и прикрывающим полость циклодекстрина; 2) равновесие между комплексом с радикальным фрагментом вне полости и глубоко погруженным в полость циклодекстрина.

Целью данной работы было определить структуру комплексов циклодекстрина, ковалентно связанного с различными нитроксильными радикалами:



Были проведены исследования комплексов методом ЯМР с добавлением молекул-конкурентов: 1,2-андамантанол и метиловый оранжевый. Полученные данные сравнивались с результатами стационарного ЭПР. В тех случаях, когда изменения в спектрах ЭПР незначительные, однозначный вывод о комплексообразовании сделать было сложно. Однако применение метода модуляции электронного спинового эха позволило точно определить структуру комплекса.

Анализ данных, полученных методами ЯМР, стационарного и импульсного ЭПР, позволил сделать выводы о структуре комплексов.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Е. Г. Багрянская

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НОВЫХ СЕРА-АЗОТНЫХ АНИОН РАДИКАЛОВ И МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

А. В. Лончаков

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

В настоящее время одной из самых актуальных задач физики, химии и материаловедения является создание и изучение новых материалов, в том числе молекулярных магнетиков. Синтез новых сера-азотных анион радикалов и их солей, перспективных в плане создания органических магнетиков, ведется в настоящее время в НИОХ и ИНХ СО РАН. В данной работе проведено теоретический анализ свойств новых соединений с использованием методов квантовой химии.

Для анализа на молекулярном уровне магнитных свойств синтезированных солей нами развит теоретический подход, состоящий в квантово-химическом расчете парных обменных взаимодействий радикальных частиц (J) с использованием реальной геометрии кристаллической решетки, полученной методом РСА. Магнитная структура исследованных соединений определяется далее на основании полученных величин обменных взаимодействий. Расчеты проводили неограниченным по спине методом теории функционала плотности с нарушенной симметрией.

Ранее нами была определена магнитная структура ряда солей сера-азотных анион радикалов с диамагнитными катионами [1,2]. Теоретическая зависимость магнитной восприимчивости этих солей от температуры была рассчитана нами с использованием в простейших случаях феноменологических теории, а в более сложных системах по формуле Ван-Флека с использованием прямой диагонализации гамильтониана Гейзенберга-Дирака-Ван-Флека.

Более перспективными молекулярными магнетиками являются анион-радикальные соли с парамагнитными катионами, например, металлоцена. С целью поиска предшественников сера-азотных анион-радикалов, способных окислять молекулы металлоценов, проведены расчеты сродства к электрону большого числа сера-азотных гетероциклов.

В связи с тем, что для анализа распределение спиновой плотности в солях предполагается привлечь метод ЯМР в твердом теле, проведены расчеты химических сдвигов в спектрах ЯМР ряда анион-радикалов.

-
1. S. Konchenko, N. Gritsan, A. Lonchakov et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 2008, 3833.
 2. S. Konchenko, N. Gritsan, A. Lonchakov et al. // Mendeleev Commun. 2009, 19, 7.

Научный руководитель – д-р хим. наук, проф. Н. П. Грицан

ДВУХСТАДИЙНАЯ НУКЛЕАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАПЕЛЬ ИНДИЯ НА АТОМАРНО-ГЛАДКОЙ ПОВЕРХНОСТИ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

А. А. Лямкина

Новосибирский государственный университет
Институт физики полупроводников СО РАН

Для современных технологий требуется производство различных наноструктур, отвечающих определенным требованиям. Одной из важных практических задач является получение однородного массива оптически активных нанокристаллов (квантовых точек), который может быть использован в таких устройствах как лазер, однофотонный излучатель, квантовый компьютер и т. д. В последнее время ведутся поиски новых способов их получения, одним из перспективных является дроблетная эпитаксия. Этот метод основан на предварительном создании на поверхности центров зарождения – металлических капель, которые являются начальной стадией формирования квантовых точек.

В работе на атомарно-гладкую чистую поверхность арсенида галлия из паров осаждался индий, после чего в результате гетерогенной нуклеации возникал массив капель, характеризующийся некоторым распределением по размерам. Для его изучения были использованы методики атомно-силовой микроскопии (АСМ). Дополнительные возможности для исследования открывает сравнительный анализ геометрических размеров капель и спектров фотолуминесценции полученных из них точек, характеризующих квантово-оптические свойства этих нанобъектов.

Как показал анализ АСМ изображений, распределение капель по высоте имеет ярко выраженный бимодальный характер. Плотность капель составила около $5 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2}$, поэтому для уточнения статистического анализа требуются дальнейшие исследования. Присутствие двух групп капель можно объяснить наличием различных механизмов формирования капель или изменением условий формирования во время роста. Распределение было описано суммой гауссианов, причем значения высот групп точек заметно отличаются. Это означает, что во время нанесения индия в некоторый момент на поверхности появляются дополнительные центры зародышеобразования. Вероятно, это дефекты, возникающие из-за испарения мышьяка из арсенида галлия и связанных с ним изменений поверхности. Тогда этим эффектом можно управлять, меняя скорость нанесения индия, что планируется осуществить в дальнейшем.

Выполнено при поддержке АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы», тема 311-312-09.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. П. Мощенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНОЛА НА Pt(111) и Pd(111) МЕТОДАМИ *in situ* РФЭС И МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

А. В. Миллер

Новосибирский государственный университет
Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН

Изучение окисления метанола на поверхности платины и палладия имеет как фундаментальный, так и практический интерес. С фундаментальной точки зрения представляет интерес изучение влияния активации различных связей молекулы метанола (О-Н, С-Н, С-О) на активность и селективность каталитического процесса. С практической точки зрения метанол рассматривается как сырье для получения водорода или синтез-газа ($\text{CO} + x\text{H}_2$). Применение водорода и синтез-газа в качестве добавки к используемому в двигателях внутреннего сгорания углеводородному топливу обеспечивает значительное снижение концентрации CO , C_xH_y и NO_x в выхлопных газах и существенную экономию топлива. Ранее были обнаружены два маршрута разложения метанола на поверхности Pd: быстрое дегидрирование до CO и H_2 и медленное разложение с разрывом связи С-О в молекуле метанола. Разложение с разрывом связи С-О приводит к образованию углеродных отложений на поверхности катализатора, что в итоге ведет к его полной дезактивации. Данные углеродные отложения легко удаляются кислородом уже при температуре 400 К [1].

Целью данной работы является выявление основных закономерностей окисления метанола на Pt(111) и Pd(111) при различных температурах и соотношениях метанол/кислород при совместном использовании методов рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и масс-спектропии в режиме *in situ*. Анализ фотоэлектронных спектров C1s позволил провести идентификацию соединения углерода на поверхности катализатора и определить их относительные концентрации. Информацию о кинетике и выходе основных продуктов реакции получали с помощью метода масс-спектрометрии. Показано, что в присутствии кислорода на поверхности палладия происходит каталитическое разложение метанола. Основным маршрутом является дегидрирование метанола до CO и водорода: $\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$. На платине преобладает полное окисление метанола: $2\text{CH}_3\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$. Установлено, что в обоих случаях реакция протекает с заметной скоростью при $T > 450$ К. Катализаторами реакции окисления метанола являются Pt и Pd в металлическом состоянии.

1. Каичев В. В., Бухтияров В. И., Рупрехтер Г., Фройнд Х.-Й. // Кинетика и Катализ 2005. Т. 46. С. 288.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ТРЕТ-БУТИЛОВОГО СПИРТА МЕТОДОМ ЯМР СПЕКТРОСКОПИИ НА ЯДРАХ ДЕЙТЕРИЯ

А. М. Нищенко

Новосибирский государственный университет
Институт катализа им. Г.К. Борескова

Работа посвящена исследованию динамики трет-бутилового спирта методом ^2H ЯМР спектроскопии твердого тела. Трет-бутиловый спирт применяется для получения метил-трет-бутилового эфира, который используется для повышения октанового числа бензина. Образование эфира происходит в результате реакции между трет-бутиловым спиртом и метанолом, протекающей в цеолите ZSM-5. В условиях, когда размер пор катализатора сравним с молекулярным, на ход реакции начинают оказывать заметное влияние особенности динамического поведения реагентов. Поэтому определение особенностей молекулярной динамики трет-бутилового спирта имеет важное практическое значение. Первым этапом для решения этой задачи является определение внутренней динамики молекулы в твердом состоянии вне цеолита.

Для определения динамики молекулы используется ^2H ЯМР спектроскопия [1-4]. Метод ^2H ЯМР спектроскопии позволяет получить информацию о диффузии молекул и о внутримолекулярных движениях [4]. Анализ формы линии спектра дает информацию о скорости и геометрии движений молекулы, кроме того, зная зависимость времен релаксации от температуры, можно определить энергию активации движений и модель движения [2,3].

В данной работе представлена зависимость времен продольной спин-решеточной релаксации ядер дейтерия от температуры, а также спектры, в диапазоне температур от 173 до 283 (К). Методами компьютерного моделирования были определены модели динамики молекулы и их параметры [2,4].

-
1. P. Diehel, E. Fluck, R. Kosfeld, *Dynamic NMR Spectroscopy* (1978).
 2. R. J. Witterbort, A. Szabo, *Theory of NMR relaxation in macromolecules: restricted diffusion and jump models*, *J. Chem. Phys.* 69(4), 1722-1736 (1978).
 3. D. A. Torchia, A. Szabo, *Spin-lattice relaxation in solids*, *J. of Magnetic Resonance* 49, 107-121(1982).
 4. D. I. Kolokolov, S. S. Arzumanov, A. G. Stepanov, H. Jobic, *Dynamics of linear n-C₆-n-C₂₂ alkanes inside 5A zeolite studied by ^2H NMR*, *J. Phys. Chem.* 111 (11), 4393-4403 (2007).

Научный руководитель – д-р хим. наук, доцент А. Г. Степанов

УЛУЧШЕННЫЙ МЕТОД ПРЕДСКАЗАНИЯ ЭНТРОПИИ ПЛАВЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОГО ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО СКРИНИНГА

П. М. Пономаренко, А. В. Григорян
Новосибирский государственный университет
The Scripps Research Institute

Процессу связывания небольших молекул с белками всегда соответствует изменение энтропии системы. Предсказание изменения энтропии системы в таких процессах необходимо для оценки изменения свободной энергии Гиббса системы.

Для поиска лекарств в последнее время широко используется виртуальный высокопроизводительный скрининг – процедура, в которой оценивается сродство сотен тысяч различных органических соединений к белку. Для этого требуется производить расчеты за минимальные времена, поэтому обычно считают, что изменение энтропии пропорционально количеству вращающихся связей в органическом соединении в растворе. При этом пренебрегают тем фактом, что различные связи вносят различный вклад в энтропию, а вклад белка в изменение энтропии считают не зависящим от конкретного органического соединения.

В данной работе была составлена база из 404 органических соединений, содержащая их энтропию плавления. На ее основе мы нашли формулу, оценивающую энтропию плавления органического соединения исходя из его структуры, в которую вошли свободные вращающиеся связи (между sp^3-sp^3 и sp^3-sp^2 гибридизованными атомами) и ограниченно вращающиеся связи (одинарные связи между sp^2-sp^2 гибридизованными атомами) с различными коэффициентами:

$$\Delta S_m = 41.7 + 7.8n_{\text{free}} + 5.6n_{\text{rest}}, \text{ Дж К}^{-1} \text{ моль}^{-1}. \quad (1)$$

Затем мы проверили применимость нашей оценки энтропии плавления для предсказания сродства небольших органических молекул к различным белкам, на основе оценки дискриминирующей способности отличать настоящие лиганды от всех остальных соединений в виртуальном высокопроизводительном скрининге. Для этого была составлена база из структур 257 белков с 920 настоящими лигандами. В нее также вошли 128227 оптимизированных структур белков с различными органическими соединениями, похожими на настоящие лиганды. Новый метод оценки изменения энтропии оказался стабильнее и точнее метода, в котором энтропия считается пропорциональной количеству вращающихся связей.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук Р. А. Абагян, канд. физ.-мат. наук И. И. Титов

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УЛС И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ

О. В. Седельникова

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

Высокопрочные, термо- и химически стойкие, легкие полимерные композиционные материалы находят применение в самых разных областях. Открытие наноразмерных форм углерода, в частности углерода луковичной структуры (УЛС), открыло новые возможности в создании полимерных композитов с улучшенными функциональными характеристиками. В частности, такие материалы поглощают электромагнитное излучение и могут использоваться как ослабляющие покрытия в широком частотном диапазоне.

Свойства полимерных композитов существенно зависят от свойств, состава, структуры и взаимного расположения компонентов. Проблемы использования УЛС в композитах связаны со сложной иерархией структуры и тенденцией к агрегации в более крупные агрегаты под действием сил Ван-дер-Ваальса и водородных связей между поверхностными функциональными группами. В зависимости от способа приготовления полимерных пленок можно из одних и тех же УЛС получить материалы с разными диэлектрическими свойствами. В отсутствие прямых методов диагностики, информация об организации наполнителя в матрице может быть получена только из анализа измеренных свойств композита.

В данной работе структурная организация УЛС в полистирольной матрице определялась на основе моделирования зависимости диэлектрической проницаемости пленок, изготовленных методом вальцевания, от массовой доли наполнителя в рамках теории Максвелла-Гарнетта [1]. Показано, что при массовой доле наполнителя в композите выше 20% в результате вальцевания происходит выстраивание агрегатов УЛС в линейные цепочки.

1. J. C. M. Garnett, Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B 203, 385 (1904).

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук А. В. Окотруб, д-р хим. наук Л. Г. Булушева

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОРБЦИИ ВОДОРОДА НАНОЧАСТИЦАМИ МАГНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫМИ АТОМАМИ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

М. В. Сержантова

Сибирский федеральный университет
Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН

Магний и его сплавы являются перспективными материалами для хранения водорода благодаря высокой емкости образующихся гидридов и обратимости процесса поглощения и выделения водорода, низкой стоимости, доступности и нетоксичности.

При использовании гидридов металлов для хранения водорода, в частности Mg_2H_x , важную технологическую роль играет целенаправленная модификация используемых материалов, позволяющая увеличить скорости поглощения и выделения газа, увеличить ресурс соединения.

С помощью NEB (nudged elastic band) метода были вычислены величины потенциальных барьеров для движения атома водорода между ближайшими потенциальными минимумами энергии в чистом гидриде магния и в гидриде магния, модифицированном атомами титана в первом случае, атомами палладия во втором. Высокое значение потенциального барьера перехода атома водорода в α -фазе MgH_2 , которое составляет $\sim 1,05$ эВ, является причиной медленной диффузии водорода внутри структуры. При замещении небольшого количества атомов магния на атомы палладия или титана значение энергии перехода атома водорода уменьшается в случае титана до $\sim 0,59$ эВ, в случае палладия до $\sim 0,85$ эВ.

Установлено, что на модифицированной поверхности энергия связи с молекулой водорода составляет $\sim -0,15$ эВ – в случае Ti, а в случае Pd энергия равна энергии системы Pd-H без взаимодействия. В обоих случаях молекула водорода образует преддиссоциированное состояние на поверхности кластера.

Исследование процесса миграции атомарного водорода с поверхности модифицированных пластин показало, что энергетический барьер подобного процесса составляет $\sim 0,70$ эВ в случае Ti и $\sim 0,81$ эВ в случае Pd. Относительно малая величина энергетического барьера свидетельствует о возможности протекания диффузии атомарного водорода в объем структуры.

Полученные результаты указывают на то, что модифицирование магниевых кластеров Ti более рационально, чем Pd, для последующего применения в качестве материалов для эффективного хранения водорода.

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

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ФОТОГЕНЕРАЦИИ АТОМОВ ВОДОРОДА ПРИ ФОТОВОЗБУЖДЕНИИ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВЫХ КОМПЛЕКСОВ МОЛЕКУЛЯРНОГО КИСЛОРОДА X-O₂

Б. С. Сыдыков

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

В настоящее время известно, что фотохимические свойства молекул могут радикально меняться, если они находятся в окружении других молекул. Например, как показывают многочисленные эксперименты, сечение поглощения кислорода в полосе Герцберга в этом случае возрастает на несколько порядков величины. В данной работе изучались фотохимические процессы в ван-дер-ваальсовых комплексах X-O₂, которые представляют большой интерес для понимания фотохимии атмосферы.

Ранее было обнаружено, что при фотовозбуждении некоторых комплексов RH-O₂ происходит фотогенерация атомов водорода. В настоящей работе изучался механизм образования атомов водорода из ван-дер-ваальсовых комплексов. Для получения ван-дер-ваальсовых комплексов молекулярного кислорода с углеводородами применялась методика сверхзвуковых молекулярных пучков. Для фотовозбуждения кластеров RH-O₂ использовалось лазерное излучение с длинами волн в диапазоне 215-250 нм. Фотопродукты реакции регистрировались времяпролетным масс-спектрометром, причем для ионизации продуктов (резонансно усиленная многофотонная ионизация) применялся тот же лазерный импульс, который использовался для фотовозбуждения комплексов. На основании полученных экспериментальных данных был предложен механизм фотогенерации атомов водорода при фотодиссоциации ван-дер-ваальсовых комплексов RH-O₂.

1. Baklanov A. V., Bogdanchikov G. A., Vidma K. V., Chestakov D. A., Parker D. H., Cluster-enhanced X-O₂ photochemistry (X=CH₃I, C₃H₆, C₆H₁₂, and Xe) // J. Chem. Phys., 2007, v. 126, art. 124316.

Научные руководители – д-р хим. наук, проф. А. В. Бакланов, канд. физ.-мат. наук С. А. Кочубей

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРОВ

Р. М. Шляпов, М. С. Татибаева

Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова,
Караганда, Казахстан

Исследование свойств макромолекул является важным этапом при получении полимерных веществ. К весьма чувствительным и информативным характеристикам полимерных соединений относятся такие гидродинамические параметры (невозмущенные размеры макромолекул, коэффициент набухания макромолекулярных клубков полимеров, размер статистического сегмента). В связи с этим возникает необходимость изучения кинетических характеристик процессов взаимодействия полимер-растворитель. В данной работе использовали полимер – поливиниловый спирт (ПВС). Получены данные концентрационной зависимости приведенной вязкости с учетом влияния переменного тока частотой 50 Гц при температуре 298 К в течение 30 мин. Невозмущенные размеры макромолекул рассчитывали по формуле Флори-Фокса. Результаты отражены в таблице.

Раствор	$[\eta]$, см ³ /г	M, г/моль	$\langle \bar{r} \rangle^2$	n	sin $\theta/2$	l	b
Исходн.	2,2867	$2,26 \cdot 10^5$	$1,49 \cdot 10^{12}$	11363,8	$0,22006_5$	0,154	$3,9 \cdot 10^{15}$
Обработ. (~50 Гц)	1,0928	$6,62 \cdot 10^4$	$9,13 \cdot 10^{13}$	1503,95	$0,22006_5$	0,154	$1,8 \cdot 10^{14}$

Показано, что уменьшение молекулярной массы под действием переменного тока свидетельствует о разрушении макромолекул. Уменьшение невозмущенных размеров макромолекул при действии переменного тока частотой 50 Гц говорит о сокращении расстояния между концами макромолекул, следовательно, о разрыве межмолекулярных водородных связей. В пользу этого говорит линейная зависимость приведенной вязкости от концентрации. Хотя для исходного раствора данная зависимость имела экспоненциальный характер. В связи с этим возрастает энтропийная составляющая энергии Гиббса системы полимер – растворитель. Т.о. обработка переменным током приводит к разрыву межмолекулярных водородных связей, вследствие чего возрастает вероятность образования отдельных макромолекулярных фрагментов – продуктов деструкции ассоциатов ПВС, за счет поляризации образца.

Научный руководитель – д-р хим. наук, проф. Ш. К. Амерханова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ СИСТЕМЫ Zr-B

А. О. Товпинец, Е. В. Жуков

Томский государственный университет

Российский государственный университет им. И. Канта

Основой технологии получения материалов различных классов является операция технологического горения, в ходе которого происходит глубокий передел исходных компонентов с получением продукта, обладающего принципиально новыми, по сравнению с реагентами, составом, структурной организацией и комплексом свойств. Многоуровневая физическая модель реагирующей порошковой смеси, описывающая физико-химические процессы ударного синтеза на микро и макро уровне, учитывает возможность образования жидкой и газовой фаз реагирующих компонентов, изменение их реакционной способности, исходной пористости, температуры и других технологических факторов [1]. Учитывается изменение реакционной способности твердофазной системы в процессе механического нагружения. Рассматривается возможность фазовых переходов всех компонентов реагирующей среды. Допускается возможность смены механизма компактирования с вязкопластического уплотнения твердого деформируемого пористого тела на нелинейное вязкопластическое течение концентрированной суспензии взаимодействующих частиц. В рамках единого подхода моделируется модификация структуры, параметров состояния, физических характеристик и параметров макрокинетики химических превращений в процессе действия импульса механической нагрузки и на последующих этапах синтеза, протекание твердофазных физико-химических процессов и конвективные процессы тепло- и массопереноса. Учитывается возможность формирования субструктуры реагирующего тела наноскопических размеров. Разработан алгоритм моделирования сверхбыстрых твердофазных химических превращений в многокомпонентных реагирующих системах с применением методов параллельных и распределенных вычислений в широком практически значимом диапазоне изменения исходных параметров химически реагирующих порошковых смесей и условий нагружения.

1. Лейцин В.Н., Дмитриева М.А. Моделирование механохимических процессов в реагирующих порошковых средах. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 188с.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент М. А. Дмитриева

ПОЛНЫЕ ОБЛАСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ДЛЯ БИНАРНЫХ СИСТЕМ

А. В. Трилис

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Интерес к процессам с участием наночастиц, резко возросший в последние годы, обусловлен потенциальным высокоприбыльным применением результатов научных исследований практически во всех областях человеческой деятельности, в частности в биомедицине. Одно из наиболее перспективных направлений в этой области – исследование и разработка эффективных систем целевой доставки лекарственных средств.

Процессы нуклеации при фазовых переходах первого рода могут быть использованы для генерации наночастиц. Этот подход имеет преимущество, состоящее в том, что, зная топологию областей существования метастабильных состояний, можно контролировать рост наночастиц, их размер и состав, что в перспективе даёт возможность получать нанообъекты с заранее заданными свойствами.

Качественное рассмотрение известных эмпирических результатов с использованием полуэмпирических построений позволяет определить элементы топологии области метастабильных состояний пара. В данной работе обсуждаются общие подходы и отдельные примеры топологий областей метастабильных состояний бинарных систем, приводящих к генерации наночастиц.

Для бинарной системы к осям давление, P , и температура, T , добавляется переменная X , соответствующая относительному содержанию компонентов. Общеизвестно, что фазовые равновесия бинарной системы порождают поверхность. Поверхностью, аналогично, могут быть представлены условия спиноподального распада. Эти поверхности смыкаются на критической линии. Очевидно, что метастабильным состояниям бинарного пара соответствует пространство, ограниченное поверхностью равновесия фаз и поверхностью спиноподального распада. Критические линии паро-жидкостных систем могут быть вычислены на основе использования достаточно точных эмпирических корреляций.

В работе показано, что полные области существования метастабильных состояний произвольных систем в пространстве физических параметров могут быть успешно определены полуэмпирическими методами, поскольку эмпирические методы позволяют охватить область параметров, на несколько порядков меньше необходимого объема измерений, а теоретические методы не обеспечивают достаточной точности.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук М. П. Анисимов

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА ПРИ ФОТОВОЗБУЖДЕНИИ ВАН- ДЕР-ВААЛЬСОВЫХ КОМПЛЕКСОВ $C_3H_8-O_2$ И O_2-O_2

А. П. Трушина

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Молекулярный кислород O_2 слабо поглощает электромагнитное излучение с длиной волны большей, чем 200 нм, так как оптические переходы в этой области спектра поглощения кислорода запрещены.

Известно, что при взаимодействии молекулы O_2 с молекулами окружения в Ван-дер-Ваальсовых комплексах сечение поглощения фотонов растет на порядки величины, что делает запрещенные в изолированной молекуле O_2 переходы разрешенными в комплексе $X-O_2$.

При исследовании фотохимии Ван-дер-Ваальсовых комплексов кислорода $X-O_2$ с применением техники измерения «карт скоростей» (velocity map imaging) [1] из анализа энергии атомов кислорода, образующихся при фотодиссоциации комплексов $X-O_2$, было установлено, что фотовозбуждение комплексов $X-O_2$ приводит к образованию молекул синглетного кислорода $O_2(^1\Delta_g)$. Синглетный кислород является очень реакционноспособной молекулой, поэтому изучение механизмов его образования является важной задачей для анализа фотохимических процессов атмосферы.

В данной работе проводится прямая регистрация и исследование механизма образования синглетного кислорода $O_2(^1\Delta_g)$ по люминесценции на длине волны 1,27 мкм при фотовозбуждении Ван-дер-Ваальсовых комплексов $X-O_2$. Для последующего анализа вклада фотопоглощения комплексов в фотохимические процессы в атмосфере, в работе в качестве газа X взят изопрен C_3H_8 , как наиболее распространенное органическое вещество природного происхождения в атмосфере после метана; а также молекулярный кислород O_2 .

В работе проанализирован временной профиль сигнала люминесценции, найдены спектральные характеристики процесса фотогенерации синглетного кислорода, выявлен механизм и найдены константы скорости его тушения.

1. A. V. Baklanov, G. A. Bogdanchikov, K. V. Vidma, D. A. Chestakov, D. H. Parker, Cluster-enhanced $X-O_2$ photochemistry ($X=CH_3I$, C_3H_6 , C_6H_{12} , and Xe), J. Chem. Phys. 126, 124316 (2007).

Научные руководители – д-р хим. наук, проф. А. В. Бакланов, канд. физ.-мат. наук С. А. Кочубей

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ В РАМКАХ ПЛАЗМЕННО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Н. И. Шестаков

Восточно-Сибирский государственный технологический университет

Растворы электролитов, представляющие собой систему зарядов, можно рассматривать в плазмоподобном приближении, поскольку ионы в качестве основных структурных единиц вещества являются основой плазменного состояния вещества. Совокупность таких свойств ионов, как заряды и их радиусы, энергетические характеристики и многие другие, определяет специфику поведения их как в растворах, так и в газообразном и твердом состояниях. Поэтому в настоящее время одной из наиболее актуальных задач, как для теории растворов, так и для технологических процессов является установление количественных закономерностей влияния физических и химических свойств растворителей и электролитов, состава и температуры на макроскопическое поведение в процессах переноса. Электрическая проводимость электролитов является основным физико-химическим параметром этих систем.

В рамках указанной концепции плазменно-гидродинамического состояния ионов в растворах было получено уравнение, позволяющее без подгоночных параметров количественно определять электрические проводимости водных растворов электролитов [1]:

$$\Lambda = \frac{N_A e^2 \exp\left(-\frac{\hbar\omega}{k_B T}\right)}{6\pi\eta R\left(1 + \frac{R}{r_D}\right)} \cdot 1,11 \cdot 10^{-12}, \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}.$$

Разработанная теоретическая модель электропроводности, позволяет теоретически оценивать Λ от разбавленных до практически насыщенных растворов в широком интервале температур, а также целенаправленно подбирать электролиты и растворители для приготовления жидкофазных материалов с заданными теплофизическими свойствами [2].

1. Балданов М.М., Мохосоев М.В. Состояние ионов в растворах электролитов в приближении ионной плазмы // Докл. АН СССР. – 1985. – Т. 284. – Вып.6. – С. 1384 – 1387.

2. Балданов М.-Б.М., Балданова Д.М., Жигжитова С.Б., Танганов Б.Б. Плазменно-гидродинамическая теория растворов электролитов и электропроводность // Докл. АН ВШ РФ. – 2006. – №1(6). – С.25-33.

Научный руководитель – канд. техн. наук. С. Б. Жигжитова

ОГЛАВЛЕНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАШИННАЯ ГРАФИКА	3
<i>С. А. Авдеев</i>	<i>3</i>
<i>С. А. Бабин</i>	<i>4</i>
<i>В. А. Белобородов, Г. Л. Панин.....</i>	<i>5</i>
<i>В.В. Буевич</i>	<i>6</i>
<i>И. Ю. Булаев, П. С. Колодин, П. А. Воронков</i>	<i>7</i>
<i>Н. В. Важенцева</i>	<i>8</i>
<i>Д. Б. Воробьева</i>	<i>9</i>
<i>Ю.С. Восель</i>	<i>10</i>
<i>А. А. Дербенёв</i>	<i>11</i>
<i>Е. Г. Козлов</i>	<i>12</i>
<i>А. А. Косенков.....</i>	<i>13</i>
<i>А. А. Мамрашев.....</i>	<i>14</i>
<i>А. В. Носенко.....</i>	<i>15</i>
<i>К.В. Оконечников.....</i>	<i>16</i>
<i>А. Е. Петелин.....</i>	<i>17</i>
<i>К. А. Плехов, Г. О. Селиванова</i>	<i>18</i>
<i>А. В. Раков.....</i>	<i>19</i>
<i>П. В. Рахлин.....</i>	<i>20</i>
<i>П. В. Рахлин.....</i>	<i>21</i>
<i>Р. А. Романов</i>	<i>22</i>
<i>А. Н. Самсонов.....</i>	<i>23</i>
<i>И. В. Симоненко.....</i>	<i>24</i>
<i>Д. И. Сквородин</i>	<i>25</i>
<i>Т. Н. Степанова.....</i>	<i>26</i>
<i>И. А. Чалов</i>	<i>27</i>

<i>К. Ю. Черенкова, В. А. Куликов</i>	28
<i>А. Ю. Черномашенцев, Д. В. Ковальчук</i>	29
АЭРОФИЗИКА И НЕРАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ	30
<i>К. В. Адаменко</i>	30
<i>А. Ш. Агажанов</i>	31
<i>К. В. Адаменко</i>	32
<i>М.Ю. Андреев</i>	33
<i>М. Н. Андреев, А. И. Сафонов</i>	34
<i>О. А. Булгакова</i>	35
<u><i>А. С. Буткеев</i></u>	36
<i>И. Д. Ватник</i>	37
<i>Г. В. Власов</i>	38
<i>И. С. Вожаков</i>	39
<i>А.Б. Евтушенко</i>	40
<i>И.В. Казанин**</i> , <i>А.Ю. Пак*</i>	41
<i>Д. И. Качулин</i>	42
<i>С. В. Кириловский</i>	43
<i>А. А. Лавриненко</i>	44
<i>К.А. Ломанович</i>	45
<i>М. В. Михаэлис</i>	46
<i>Д. В. Петров</i>	47
<i>В. А. Пинаев</i>	48
<i>С. И. Рафейчик</i>	49
<i>А. И. Рыбников</i>	50
<i>А. А. Семенов</i>	51
<i>К. М. Сердюк</i>	52
<i>Д. А. Тропин</i>	53
<i>А. С. Усанина</i>	54

<i>М.Ю. Хребтов</i>	55
<i>А. Н. Чернявский</i>	56
<i>Е. Н. Шатский</i>	57
<i>М. В. Шугаев</i>	58
БИОЛОГИЧЕСКАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА	59
<i>Д. И. Строкотов</i>	59
<i>А. А. Гелаи</i>	60
<i>Д. Ю. Орлова</i>	61
<i>А. С. Бакланов</i>	62
<i>Д. В. Корнеев</i>	63
<i>А. В. Мордвинцева</i>	64
<i>С. В. Мальцев</i>	65
<i>В. В. Герасимов</i>	66
<i>И. В. Калгин</i>	67
<i>А. В. Клемина</i>	68
<i>М. А. Черкасова, А. Б. Цыганов</i>	69
<i>А. Ю. Авдеева, И. В. Тимофеев</i>	70
<i>Е. И. Донцова</i>	71
<i>П. М. Дутов</i>	72
<i>А. С. Завьялов, Д. С. Чуркин</i>	73
<i>Н. А. Коляда</i>	74
<i>И. А. Лобач</i>	75
<i>А. С. Лыков, Е. С. Черкашин, Л. А. Кузьмина, Е. Б. Пучинина,</i>	76
<i>И. Н. Немов</i>	77
<i>А. В. Немькин</i>	78
<i>В. Д. Паранин</i>	79
<i>Д. А. Раднатаров</i>	80
<i>Е. С. Сенченко</i>	81

<i>В. А. Симонов</i>	82
<i>С. Ю. Смелянский</i>	83
<i>Р. Э. Тюменев</i>	84
<i>Б. Ф. Ноздреватых, С. В. Устюжанин</i>	85
<i>Д. С. Харенко, А. В. Денисов</i>	86
<i>С. А. Хрипунов</i>	87
<i>В. П. Чубаков</i>	88
<i>Д. Е. Чурин</i>	89
<i>И. В. Щесюк, А. С. Гутман</i>	90
<i>Е. А. Якишина</i>	91
РАДИОФИЗИКА	92
<i>И. И. Авдеев</i>	92
<i>А.Ю. Агеев</i>	93
<i>А. Н. Бабинович</i>	94
<i>К.В. Барышева</i>	95
<i>Е. Ю. Егоров</i>	96
<i>Р. А. Кадыров</i>	97
<i>А. А. Корсаков</i>	98
<i>С. И. Кротов</i>	99
<i>Е. М. Лобов</i>	100
<i>А.Ю. Маркова</i>	101
<i>П.О. Очеретинский</i>	102
<i>А. А. Осипов</i>	103
<i>А. В. Павленко</i>	104
<i>К. А. Пирогов</i>	105
<i>А. В. Поликарпов, А. Г. Филинков</i>	106
<i>М. А. Путилов</i>	107
<i>Н. О. Стрельников</i>	108

<i>А. А. Торопов, Л. Д. Тарабукина</i>	109
<i>К. Р. Яминов</i>	110

ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР, ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И МАГНЕТИЗМА.....111

<i>Е. В. Антощенко, С. Д. Бороданов</i>	111
<i>К. В. Гец</i>	112
<i>А. А. Гребенников^а, О. В. Стогней^а, А. В. Ситников^а, В. А. Терехов^б, Н. А. Румянцева^б</i>	113
<i>А. Г. ФМиловзоров</i>	114
<i>Д. А. Родионов</i>	115
<i>Д. П. Родионова</i>	116
<i>А.Ю. Тарасова</i>	117
<i>А. К. Фадин</i>	118
<i>И.Ф. Шарафуллин</i>	119

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ.....120

<i>Д. В. Кислер</i>	121
<i>А. А. Медведева</i>	122
<i>М. А. Мамелькина, А. Б. Цыганов</i>	123
<i>А. С. Метель, Ю. А. Мельник, В. В. Панин</i>	124
<i>Н. В. Ситников</i>	125
<i>В. Ф. Скляр^{1,2}, С. А. Кузнецов^{1,3}, А. В. Бурдаков^{1,2}, М. В. Иванцевский¹, С. А. Кузнецов^{1,3}, К. И. Меклер¹, С. В. Полосаткин¹, С. С. Попов¹, В. В. Поступаев^{1,3}, А. Ф. Ровенских¹, С. Л. Синицкий^{1,3}, Ю. С. Суляев¹</i>	126
<i>Н. В. Сорокина</i>	127
<i>Р. О. Хохлов</i>	128
<i>Д. В. Юров</i>	129

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ.....130

<i>Д. С. Абрамкин</i>	130
-----------------------------	-----

<i>М. В. Алейникова, О. С. Оболонская</i>	131
<i>И. О. Ахундов</i>	132
<i>С. С. Балданов</i>	133
<i>А. Е. Бескоровайнова</i>	134
<i>К. О. Бугаев</i>	135
<i>Д. Ю. Воронович</i>	136
<i>Б. Гаипов</i>	137
<i>М. О. Гарифуллин</i>	138
<i>Д. И. Горн, С. Н. Несмелов</i>	139
<i>Д. В. Горшков</i>	140
<i>Е. Ю. Жданов</i>	141
<i>А. А. Зеленина</i>	142
<i>О. Ж. Казтаев, В. А. Новиков, И. В. Пономарёв</i>	143
<i>А. Н. Карпов</i>	144
<i>А. С. Качко</i>	145
<i>С. С. Кобылкин, М. Е. Кузнецова</i>	146
<i>Е. В. Кожемякина</i>	147
<i>А. С. Кожухов</i>	148
<i>Т. В. Козлова</i>	149
<i>О. В. Кондратьева, А. В. Репин</i>	150
<i>Е. В. Кортаев, А. Д. Федоренко, С. А. Короленко</i>	151
<i>Ю. А. Коротенко</i>	152
<i>А. С. Любин</i>	153
<i>А. А. Лямкина</i>	154
<i>В. С. Медведева, Г. В. Шляхова, В. М. Бродский</i>	155
<i>А. В. Мозжерин</i>	156
<i>С. В. Мутилин</i>	157
<i>О. С. Оболонская</i>	158

<i>И. В. Осинных</i>	159
<i>А. В. Павлов</i>	160
<i>Д. А. Похабов</i>	161
<i>П. Е. Прохоров</i>	162
<i>И.Ф. Пунанов, А.С. Гилёв</i>	163
<i>Д. И. Рогило</i>	164
<i>С. А. Рожков</i>	165
<i>Ф.В. Рудов</i>	166
<i>Е.А. Сергеева</i>	167
<i>К. С. Сингуров</i>	168
<i>С. В. Ситников</i>	169
<i>С. А. Степанов</i>	170
<i>Д. А. Сырков</i>	171
<i>А. В. Тихонов</i>	172
<i>Р. Д. Токмашев</i>	173
<i>Н. А. Торопов, А. М. Турапин</i>	174
<i>В. А. Улбутова</i>	175
<i>А. Худойкулов</i>	176
<i>А. Худойкулов</i>	177
<i>А. К. Шестаков</i>	178
<i>М. В. Бородин, В. В. Щербина</i>	179
Физика ускорителей и элементарных частиц	180
<i>А. Е. Блинов, А. С. Руденко</i>	180
<i>А. А. Бороденко</i>	181
<i>К. В. Василевский</i>	182
<i>В. С. Воробьёв</i>	183
<i>Р. Е. Герасимов</i>	184
<i>Я. В. Гетманов</i>	185

<i>К. А. Гревцов</i>	186
<i>М. К. Жунусбеков, Т. Х. Садыков, А. В. Юшков</i>	187
<i>А. В. Каравдина</i>	188
<i>Л.В. Кардапольцев</i>	189
<i>Д. В. Матвиенко</i>	190
<i>Нгуен Чьонг Тхань Хиеу</i>	191
<i>А. В. Петрожицкий</i>	192
<i>А. Е. Стариков</i>	193
<i>Т. А. Харламова</i>	194
<i>Я. А. Харьков</i>	195
<i>А. И. Хорошилов</i>	196
<i>В. А. Черепанов</i>	197
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА	198
<i>Е. П. Волкова</i>	198
<i>А. В. Головизин</i>	199
<i>Р. А. Головин</i>	200
<i>Е. В. Гоман</i>	201
<i>В. Н. Кудрявцев</i>	202
<i>А. И. Кузьмин</i>	203
<i>В. А. Ложкин</i>	204
<i>А. И. Панов</i>	205
<i>А. И. Сенченко</i>	206
ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ	207
<i>Р. Н. Абдуллаев</i>	207
<i>И. А. Азаров</i>	208
<i>М. А. Битехтина</i>	209
<i>М. С. Вагин</i>	210

<i>В. В. Вантеев, М. А. Федосова, А. Х. Ярулин</i>	211
<i>М. С. Гартен, А. Е. Леухина</i>	212
<i>А. Я. Гафаров</i>	213
<i>М. Г. Дементьева, Е.Ю. Гудимова, Л.Л. Мейснер</i>	214
<i>А. Е. Данилина</i>	215
<i>Л. А. Журенкова</i>	216
<i>С.В. Завгородний, Т.В. Меньщикова</i>	217
<i>А. М. Игошкин</i>	218
<i>М. А. Каныгин</i>	219
<i>А.Т. Коновальчик</i>	220
<i>М.В. Коробенков, В.А. Скрипняк, А.А. Козулин</i>	221
<i>Е. Г. Мозулев</i>	222
<i>Н. А. Небогатикова, А. А. Павлюк</i>	223
<i>В. В. Никулин</i>	224
<i>И. В. Плескунов, Д. С. Быстров</i>	225
<i>А. А. Сараев</i>	226
<i>Е. Ю. Соболева</i>	227
<i>С. В. Ти, Ю.Г. Матейшина</i>	228
<i>Ю.В. Титова, Л.А. Шиганова</i>	229
<i>А.С. Уницын</i>	230
<i>В. А. Устюгов</i>	231
<i>М.А. Федосова, В.В. Вантеев, А.Х. Ярулин</i>	232
<i>С. С. Якушкин</i>	233
<i>А.Х.Ярулин, М.А.Федосова, В.В.Вантеев</i>	234
<i>Д. А. Яценко</i>	235
ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА	236
<i>С. В. Акимов</i>	236
<i>Ю. А. Альгаер</i>	237

<i>О. С. Асеев</i>	238
<i>И. С. Беспалов</i>	239
<i>О. В. Боровкова</i>	240
<i>Н. В. Будачёв, О. П. Коробейничев, А. А. Палецкий, Т. А. Большова</i>	241
<i>И. Е. Герасимов</i>	242
<i>Т. И. Головская</i>	243
<i>О. А. Горбунов</i>	244
<i>Х. А. Даракчан</i>	245
<i>Л. А. Захаров, М. А. Шулепов</i>	246
<i>А. А. Иванов, А. С. Кучевская</i>	247
<i>А. А. Квасов</i>	248
<i>С. М. Козлов</i>	249
<i>О. А. Крумкачева</i>	250
<i>А. В. Лончаков</i>	251
<i>А. А. Лямкина</i>	252
<i>А. В. Миллер</i>	253
<i>А. М. Нищенко</i>	254
<i>П. М. Пономаренко, А. В. Григорян</i>	255
<i>О. В. Седельникова</i>	256
<i>М. В. Сержантова</i>	257
<i>Б. С. Сыдыков</i>	258
<i>Р. М. Шляпов, М. С. Татибаева</i>	259
<i>А. О. Товпинец, Е. В. Жуков</i>	260
<i>А. В. Трилис</i>	261
<i>А. П. Трушина</i>	262
<i>Н. И. Шестаков</i>	263
