

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

**МАТЕРИАЛЫ
XLVIII МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

«Студент и научно-технический прогресс»

10–14 апреля 2010 г.

ФИЗИКА

**Новосибирск
2010**

УДК 53
ББК 22.3

Материалы XLVIII Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Физика / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2010. 367 с.

Конференция проводится при поддержке Президиума Сибирского отделения Российской Академии наук, Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 10-04-06804-моб_г), Администрации Новосибирской области, Комиссии РФ по делам ЮНЕСКО.

Редакционная коллегия

Председатель – чл.-корр. РАН, проф. А.В. Латышев

Ответственный секретарь – канд. физ.-мат. наук Д. В. Щеглов

Члены бюро секции – д-р физ.-мат. наук, проф. А. В. Аржанников,
д-р физ.-мат. наук, проф. В. М. Аульченко,
д-р физ.-мат. наук, проф. Л. А. Боярский,
чл.-корр. РАН, проф. А. А. Иванов,
канд. техн. наук Е.В. Козырев,
чл.-корр. РАН, проф. А. В. Латышев,
д-р физ.-мат. наук Д. М. Маркович,
канд. физ.-мат. наук, доцент Д. В. Стась,
д-р физ.-мат. наук А. В. Тайченачев,
д-р физ.-мат. наук, проф. С. В. Цыбуля,
доцент М. Ю. Шадрин,
д-р физ.-мат. наук Б. А. Шварц,
канд. физ.-мат. наук М. А. Юркин.

© Новосибирский государственный
университет, 2010

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАШИННАЯ ГРАФИКА

ПОЛУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИ РЕАЛИСТИЧНОЙ АДАПТИВНОЙ АНИМАЦИИ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРСОНАЖА

С. А. Авдеев

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время для анимации персонажа в трёхмерном пространстве повсеместно используется метод ключевых кадров. Он подразумевает созданную дизайнером-аниматором математическую модель персонажа и созданную последовательность, так называемых, ключевых кадров. Далее автоматизированное программное обеспечение рассчитывает положение скелета персонажа между этими ключевыми кадрами, и полученная последовательность может быть визуально проиграна. Так выглядит традиционный механизм создания анимаций в современных мультипликационных студиях и для приложений виртуальной реальности. Отрицательной стороной этого подхода является большое количество ручного труда, требующегося для обеспечения высокой реалистичности движения для заранее заданных внешних условий. Для широкого диапазона различных допустимых внешних условий (различный наклон поверхности, по которой необходимо двигаться, удары в разные части тела и т.д.) сложность обеспечения реалистичности анимации классическим методом растёт пропорционально количеству уникальных внешних условий. Если же наложить самое сильное требование: обеспечить реалистичность для заранее незаданных внешних условий, то задача для высокого уровня реалистичности становится невыполнимой в рамках классического метода.

Было предложено использовать физический пакет для моделирования систем связанных твёрдых тел с дополнительной мускульной моделью, которая позволяет контролировать движения отдельных частей и всего персонажа в целом. Получаемые таким способом анимации будут физически реалистичными, т.к. для получения анимации используется физическое моделирование движения. При этом физический пакет обрабатывает взаимодействие с окружением, таким образом, устраняются взаимопроникновения тел персонажа и окружения.

В работе рассматриваются алгоритм комбинирования примитивных последовательностей активных сил, построение алгоритма для получения адаптивной анимации периодических движений. Практическая ценность работы заключается в повышении реалистичности получаемых анимаций, уменьшении количества ручного труда, автоматизации процесса получения анимаций.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доцент М. М. Лаврентьев.

ПЕЛЕНГАЦИЯ ИСТОЧНИКА СЕЙСМОКОЛЕБАНИЙ

С. А. Алямкин

Новосибирский государственный университет

В настоящее время разработка сейсмической системы обнаружения (ССО) и распознавания объектов является актуальной задачей в силу ряда причин: она входит в состав разведывательно-сигнализационных комплексов, используемых при охране государственной границы, арсеналов оружия, АЭС, нефте- и газопроводов. ССО обладает преимуществами по сравнению с системами, основанными на других принципах работы, такими как скрытность установки и пассивность функционирования. Сейсмодатчики являются основой для ССО, их работа обусловлена алгоритмической селективностью, основанной на различиях характеристик шумовых и целевых сигналов.

При синхронной обработке сигналов от нескольких датчиков, разнесенных в пространстве, и измерении времени относительной задержки сигнала, принятого сейсмоприемниками, появляется возможность получать пеленг источника колебаний. Это дает возможность определять координаты и скорость объекта.

Целью данной работы является создание устойчивого алгоритма обработки данных с сейсмоприемников для получения пеленга движущегося источника. Важным требованием к алгоритму является его экономичность, необходимая для датчиков с автономным питанием.

Изменение формы сейсмосигнала во временной области происходит даже на коротких, порядка метров, расстояниях. Это затрудняет измерение временных задержек, приводит к большим погрешностям. Мы исследовали два альтернативных метода подавления этих эффектов, метод узкополосной фильтрации и корреляционный. В качестве критерия сравнения алгоритмов пеленгации использовались величина ошибки определения пеленга и энергопотребление алгоритма (число операций сложения в секунду). В результате сравнения на наборе сейсмограмм был сделан выбор в пользу корреляционного алгоритма, получен набор его оптимальных параметров.

Разработанный в результате алгоритм позволяет получать пеленг с погрешностью порядка 5° для пешехода на дальности до 80 м и для автомобиля до 400 м. Экономичность алгоритма позволит работать датчику более 2х лет без смены источника питания.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ

А. А. Астапков, П. Г. Морозов

Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова
Московский авиационный институт

Поверхностные явления являются единственным каналом для проникновения вглубь кристалла. Кроме того, модификации свойств поверхности прямым образом влияют на объемные свойства твердого тела, особенно в тех случаях, когда объем и площадь соизмеримы. Адсорбция и десорбция молекул, способных к изменению своего заряда, обнаруживает способность к периодическим изменениям динамических характеристик процесса. Моделирование подобных автоволновых процессов и является целью работы.

Работа базируется на модельных представлениях адсорбционной системы, это значит, что адсорбированные на поверхности твердого тела молекулы могут находиться в двух различных состояниях - нейтральном и заряженном. Алгоритм модели построен на основе теории вероятностного клеточного автомата с использованием метода поворота блоков. Поверхность твердого тела представлена в виде квадратной решетки, представляющей собой набор энергетически одинаковых активных центров, на которых локализуются молекулы адсорбтива. На одном центре адсорбируется только одна молекула, т.е. при адсорбции образуется только один адсорбционный монослой, адсорбция на данном центре не влияет на адсорбцию на других центрах связанных с моделью. Рассматриваемый объем представляет собой несколько мономолекулярных слоев, которые в свою очередь образуют кубическую решетку, молекулы могут диффундировать как извне, так и между слоями. Каждая молекула твердого тела является «клеткой» клеточного автомата. Условно каждая из клеток может находиться в одном из трех различных состояний: клетка без адсорбированной молекулы; клетка с адсорбированной молекулой; клетка с заряженной адсорбированной молекулой.

Алгоритм реализован на языке C# с использованием разработанного авторами инструментария построения распределённых приложений, основанного на многоагентном подходе и технологии WCF. Расчёт, в зависимости от параметров, производится на нескольких ЭВМ в многопоточном режиме. Визуализация результатов моделирования производится с использованием графической библиотеки XNA Game Studio.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Н. А. Рудь.

АНАЛИЗАТОР МАЭС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ АТОМНО-ЭМИССИОННЫХ СПЕКТРОВ

С. А. Бабин

Институт автоматики и электротехники СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время при проведении 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. В каждом анализаторе, в зависимости от решаемой задачи, используется сборка из нескольких линеек (от 1 до 24 шт.). Каждая линейка содержит 2580 светочувствительных элементов. Считывание фотодиодных линеек производится последовательно посредством 16-битного АЦП, с частотой 1 МГц. При этом минимальное время экспозиции зависит линейно от количества используемых линеек в сборке. Так, для сборки, состоящей из 24 линеек фотодиодов, минимальное время экспозиции составит около 160 мс. Однако для решения ряда задач на основе кинетики спектра требуется снижение времени экспозиции до единиц миллисекунд. Поскольку используемые сейчас реализации анализатора МАЭС имеют типовое время экспозиции порядка 100 мс, то актуальной является задача разработки анализатора МАЭС, имеющего малое время экспозиции – 1 мс.

В результате было предложено использовать схему с параллельным чтением линеек в сборке. Поскольку сигнал с каждой линейки оцифровывается своим АЦП и оцифровка происходит одновременно, то снижается время экспозиции, но при этом увеличивается скорость передачи данных. В случае с 24 линейками она составляет 384 Мбит/с, поэтому существующий блок электронной регистрации, имеющий интерфейс на основе Fast Ethernet является не пригодным для использования в новом МАЭС.

В результате проделанной работы был создан блок электронной регистрации с использованием интерфейса на основе Gigabit Ethernet, который позволяет передавать данные с фотодиодных линеек в программу «Atom», со скоростью до 950 Мбит/с, используя UDP дейтаграммы. В работе рассматривается разработка архитектуры анализатора, проектирование электронной платы, создание программ FPGA и микропроцессора, исследование характеристики платы в составе МАЭС. Предполагается использование разработанного блока в серийных анализаторах МАЭС, что позволит снизить пределы обнаружения и погрешности измерения концентрации определяемых элементов.

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

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

В. А. Безуглый

Мурманский государственный технический университет

Одной из важных частей современных систем автоматического управления являются блоки логики. На основе логических схем строятся ИМС, с помощью которых создаются приборы, ЭВМ и др. устройства.

Цель работы – исследование синтеза и анализа логических схем, созданных на логических элементах. Эксперименты проводились с помощью пакета проектирования Electronics Workbench (EWB).

В ходе исследования была проанализирована работа отдельных логических элементов, изучены и проанализированы временные диаграммы логических элементов с помощью инструмента EWB «Логический анализатор», создан логический элемент с использованием ИМС и синтезирована логическая схема, реализующая булеву функцию.

Задача анализа состоит в создании таблицы истинности по имеющейся схеме. В результате решения задачи анализа можно узнать возможные варианты работы схемы при различных начальных условиях (входных параметрах). Инструмент EWB «Логический преобразователь» позволяет за одно подключение перебрать все возможные комбинации входных параметров, получив таблицу истинности.

Задача синтеза заключается в построении логической схемы по имеющейся таблице истинности. Чтобы синтезировать логическую схему необходимо восстановить булево выражение по таблице истинности и минимизировать его. Это реализуется с использованием форм СДНФ или СКНФ, карт Карно. Если используются формы СДНФ или СКНФ, возникает необходимость минимизирования функции. Минимизация происходит путем преобразования логического выражения с использованием аксиом, теорем и законов алгебры логики. Функция, восстановленная с помощью карт Карно, находится в минимизированной форме (МКНФ или МДНФ). Схема составляется так, чтобы реализовалась минимизированная функцию. «Логический преобразователь» обрабатывает таблицу истинности и, минимизируя булево выражение, синтезирует схему.

1. Власов, А. Б. Электроника, часть III, «Основные цифровые элементы и узлы электронной аппаратуры» – Мурманск: изд-во МГТУ, 2008. – 203 с.

2. Карлашук, В. И. Электронная лаборатория на IBM PC. Том 1. Том 2. 6-е изд., перераб и доп. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 672 с.: ил. – (Серия «Системы проектирования»)

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

ПРОВЕДЕНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ МИКРОСХЕМ СТАНДАРТА MIL-STD-1553B

И. Ю. Булаев

Московский энергетический институт (технический университет)

MIL-STD-1553B [1], известный в России как ГОСТ Р 52070-2003 [2] – стандарт США, распространяющийся на магистральный последовательный интерфейс с централизованным управлением. В настоящее время данный стандарт широко используется в авиационных и космических системах.

Мультиплексный канал, выполненный по стандарту MIL-STD-1553B, представляет собой двухпроводную шину данных, информация по которой передается в коде «Манчестер-2». К общей шине посредством шлейфов подключены электронные модули (абоненты): контроллер шины, монитор шины и оконечные устройства.

В бортовых системах роль таких абонентов исполняют интегральные микросхемы (ИМС), так называемые микросборки, объединяющие в своем составе и цифровые, и аналоговые компоненты. От надежности микросборки зависит работоспособность всего блока, в состав которого она входит, поэтому очень важно еще *до этапа монтажа* выявить ее возможные дефекты. Большинство современных тестеров способны провести проверку абонента только в составе аппаратуры. При этом зачастую не контролируются многие немаловажные электрические параметры ИМС. Поэтому возникает задача разработки собственного тестового оборудования.

Разработан тестер, который позволяет проводить контроль протокола абонента согласно требованиям [3-5]. В перспективе планируется разработка прибора, способного оценивать электрические параметры входных и выходных характеристик исследуемого образца.

1. MIL-STD-1553B. Digital Time Division Command/Response Multiplex Data Bus.

2. ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования.

3. ГОСТ Р 52073-2003. Тестирование интерфейсных модулей, функционирующих в режиме монитора шины.

4. ГОСТ Р 52074-2003. Тестирование серийных образцов интерфейсных модулей, функционирующих в режиме контроллера шины.

5. ГОСТ Р 52075-2003. Тестирование серийных образцов интерфейсных модулей, функционирующих в режиме оконечного устройства.

Научный консультант – М. И. Краснов.

МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЛАЗЕРНОЙ МИКРООБРАБОТКИ

Е. Д. Булушев

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Ручная настройка систем лазерной обработки материалов под условия различных технологических задач имеет существенные недостатки. В настоящее время для автоматизации процесса конфигурации лазерных систем начинают использоваться системы поддержки принятия решений (СППР) [1].

Эффективность применения той или иной СППР зависит от объема базы знаний, качества ее содержимого и возможности оперативного ее пополнения. При использовании СППР контроль качества результатов обработки материалов и пополнение базы знаний осуществляет эксперт. Это приводит к низкой скорости пополнения и субъективности содержимого базы знаний, а также к большой зависимости от эксперта.

Для автоматизации процесса формирования базы знаний по лазерной обработке материалов мы предлагаем дополнить СППР программно-аппаратным *модулем управления качеством*. Модуль будет автоматически оценивать результаты эксперимента, и сохранять (либо обновлять) информацию в базе знаний. Другой задачей модуля должна стать динамическая коррекция настроек системы в процессе лазерной записи. Такое решение должно снизить зависимость накопленной информации от эксперта, дать возможность оперативного и качественного расширения базы знаний, а также повысить точность и воспроизводимость лазерной микрообработки.

В работе рассмотрена реализация модуля управления качеством на основе системы технического зрения. К настоящему моменту реализовано несколько компонент модуля управления качеством. Компоненты тестируются на созданной в ИАиЭ СО РАН установке [2]. Проведены эксперименты, подтверждающие их эффективность.

1. В. С. Майоров, С. В. Майоров, М. Ю. Стернин “Компьютерные системы поддержки принятия решений для лазерных технологических процессов обработки материалов”. Лазерные технологии обработки материалов 494-506 (2009)

2. Бессмельцев В. П., Голошевский Н. В. “Система управления составными двухкоординатными сканаторами.” Автометрия, 2007, №1, стр. 116-126.

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

САПР ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ НА БАЗЕ СИЛОВЫХ ГИРОСКОПОВ С ПРИВОДАМИ ВРАЩЕНИЯ РАМОК

А. С. Воронова

Томский политехнический университет

Существует множество требований при разработке исполнительных органов, входящих в состав системы ориентации космических аппаратов: по линейности управления, диапазону управляющих моментов, точности, быстродействию, ресурсу, потреблению электроэнергии, габаритам и массе, максимальной надежности и жесткости конструкции, динамическим качествам. Реализация отмеченных требований дает более совершенный качественный уровень всего комплекса эксплуатационных характеристик исполнительных органов, поэтому разработка системы автоматизированного проектирования весьма актуальная задача.

Только с использованием методов автоматизированного проектирования возможно получить требуемое качество разрабатываемого устройства на базе большого количества проектных решений.

Основной общий принцип системного подхода, применяемого при проектировании систем автоматизированного проектирования, заключается в рассмотрении частей исследуемого явления или сложной системы с учетом их взаимодействия. Системный подход включает в себя выявление структуры системы, типизацию связей, определение атрибутов, анализ влияния внешней среды, формирование модели системы, исследование модели и, возможно, оптимизацию ее структуры и функционирования.

Одной из наиболее эффективных CAD-систем, охватывающей все этапы проектирования является система T-Flex CAD. С помощью программного пакета T-Flex можно сформировать полностью интегрированный комплекс, решающий ключевую задачу автоматизации — повышение эффективности.

На основании вышеизложенного была построена структурная схема разработанной САПР исполнительных органов на базе силовых гироскопов с приводами вращения рамок, включающая следующее: подсистема создания 2D чертежей и 3D моделей, подсистема расчета эксплуатационных характеристик, подсистема прочностного анализа, подсистема выпуска конструкторской документации, подсистема технологической подготовки.

Использование предлагаемого метода позволяет снизить материальные затраты, повысить качество, сократить сроки проектирования, число проектировщиков, увеличить производительность труда.

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

КРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ САМОПОДОБНЫХ РЕШЕТОК

А. Ю. Гунькин

Новосибирский государственный технический университет

Одной из проблем в теории неразрушающего контроля сплошной среды является определение информативности критических параметров модели Изинга для самоподобных решеток [1]. Существующие численные методы, основным из которых является алгоритм Метрополиса, чрезвычайно трудоемки и требуют больших вычислительных ресурсов.

Недавно предложенные алгоритмы Свенсона-Ванга [2] и Вульфа [3] для регулярных решеток, основанные на идеях теории перколяции, возможно, могут снизить эти требования.

В работе ставилась задача дать сравнительный анализ эффективности алгоритмов Свенсона - Ванга и Вульфа в случае самоподобных решеток различной архитектуры. Был разработан комплекс программ, позволяющий проводить сравнительный анализ алгоритмов Метрополиса, Свенсона-Ванга и Вульфа на различных самоподобных решетках.

Результаты численных экспериментов показывают эффективность алгоритмов в зависимости от архитектуры решетки. Алгоритм Вульфа показал наилучшие результаты в случае целой размерности решетки. Алгоритм Метрополиса наиболее медлительный, но и наиболее неприхотливый к решеткам различных типов. Алгоритм Свенсона-Ванга в сравнении с алгоритмом Метрополиса более быстрый, так как в нем работа идет с кластерами. В свою очередь, алгоритм Вульфа, оказался ещё более эффективным, чем алгоритм Свенсона - Ванга, операции алгоритма проводятся только с единственным кластером.

1. Гудл, Харви, Тобочник, Компьютерное моделирование в физике. // Москва, 1992 г.

2. R. H. Swendsen, J.-S. Wang // Phys. Rev. Lett. 58, 86 1987.

3. U. Wolff // Phys. Rev. Lett. 60, 1461 1988.

Научный руководитель - д-р физ.-мат. наук А. Н. Бондаренко.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ ДЗЗ

А. А. Дербенёв

Институт автоматики и электротриии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Поиск объектов искусственного происхождения по данным дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) призван решать множество задач, таких как проведение анализа множественных рисков, связанного с оцениванием уязвимости относительно природных угроз, контроль пожарной опасности и прочее. Достижение поставленной цели предусматривает совместный анализ данных различного формата: многоспектральных разномасштабных изображений, предварительной информации о наблюдаемой сцене различного типа, знаний общего плана о наблюдаемых объектах и т.п. Основным подходом при решении практических задач является объектно-ориентированная классификация, которая, несмотря на определенные успехи, имеет ряд проблем, связанных в первую очередь с неоднозначностью выполнения её ключевого этапа – сегментации. В связи с этим целесообразна разработка методов обнаружения, исключающих процесс сегментации или не требующих разделения отсчетов изображений сцены по принадлежности их к различным объектам, и в максимальной мере использующих всю имеющуюся информацию.

При разработке алгоритмов поиска объектов неприродного происхождения возникает проблема количественной оценки их эффективности. Для решения поставленной задачи разработан программный пакет Overseer, обеспечивающий построение эталонных масок для оценки эффективности обнаружения путем сравнения результатов обработки входных изображений различными методами с данными эталонами. Также реализована возможность выполнения с изображениями логических и арифметических операций. Функционирование пакета продемонстрировано на примере обработки реальных данных дистанционного зондирования Земли.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНЫХ АССОЦИАТОВ

В. В. Еремина, Д. А. Уляхина, Ю. В. Босяк
Амурский государственный университет, г. Благовещенск

Несмотря на то, что 21 век – это время научно-технического прогресса и нанотехнологий, самая обыкновенная вода является очень сложной и во многих отношениях малоизученной системой.

Современные научные теории утверждают, что молекулы воды обладают уникальным свойством объединяться в кластеры $(\text{H}_2\text{O})_x$ за счет возникновения водородных связей. Однако, учитывая тот факт, что время существования любых молекулярных связей, существующих в жидкой воде, как правило, не превышает 10^{-11} секунды, возможности реального наблюдения молекулярных ассоциатов ограничены, поэтому имитационное моделирование является чуть ли не единственным способом изучения их структур.

Учитывая трудность представления моделей водных структур, авторами был разработан специализированный программный продукт, который позволяет не только визуализировать возможные модели конфигураций клатратов воды, но и автоматизировать расчет векторной суммы электрических моментов молекул, образующих ассоциат.

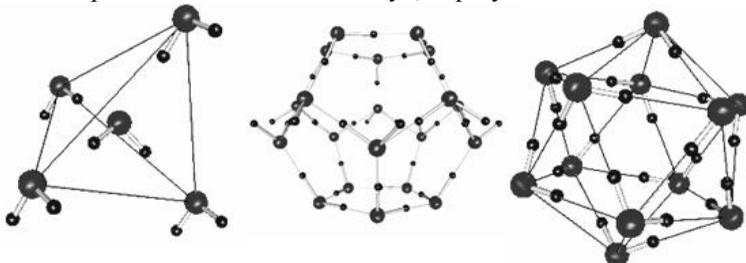


Рисунок 1 – Возможные модели клатратов воды.

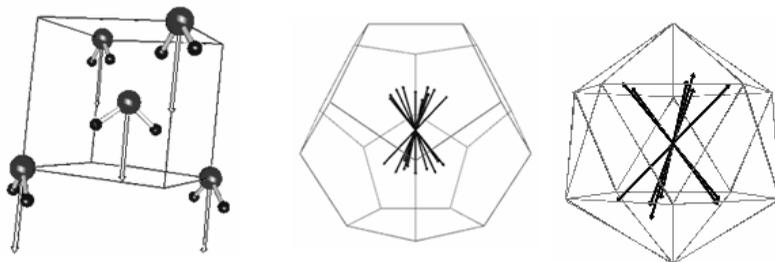


Рисунок 2 – Суммарный дипольный момент водных ассоциатов.

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

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ СУШКИ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Н. В. Завгородняя

Санкт-Петербургский государственный технологический университет
растительных полимеров

Современные целлюлозно-бумажные предприятия имеют довольно сложное теплотехническое оборудование, в котором реализуются различные *физико-химические процессы*, осуществляемые при определённых тепловых режимах.

Принципы устройства, применяемых для этой цели аппаратов и механизмов зависят от характера протекающих термодинамических процессов. Особенностью этих процессов является их *быстротечность*, например, процесс формования и сушки бумажного полотна на бумагоделательной машине длится 10..20 секунд. В этих условиях особенно большую роль играют системы автоматического регулирования основных процессов.

Многие агрегаты предприятий являются энерготехнологическими установками, осуществляющими одновременно с теплотехнологическими процессами выработку энергетического пара. Поэтому от персонала требуются разносторонние знания в области технологии и различных разделов физики.

Теплотехнологические и теплоэнергетические знания необходимы для рациональной эксплуатации целлюлозно-бумажного оборудования и повышения его эффективности. Осуществляемые тепловые процессы основываются на термодинамических и теплообменных закономерностях. В статье указываются способы повышения эффективности и регенерации низкопотенциальной теплоты.

1. Бумагоделательные машины. / Под ред. В. С. Курова, Н. Н. Кокушкина. СПб.: Политехнический университет, 2005.

2. П. А. Жучков, А. П. Гофлин, В. И. Саунин. Теплотехника целлюлозно-бумажного производства: Учебное пособие для вузов.- М.: «Экология», 1991.

3. П. А. Жучков. Тепловые процессы в целлюлозно-бумажном производстве.- М.: Лесная промышленность, 1978.

Научный руководитель – канд. техн. наук В. Н. Самойло.

К ВОПРОСУ О КОНТРОЛЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ

П. А. Зрюмов

Алтайский государственный технический университет
им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

В настоящее время многие предприятия ввиду длительной эксплуатации оборудования испытывают потребность в вибрационном контроле и мониторинге технологических параметров. Своевременное определение параметров вибрации позволяет достигать высокой производительности и максимальной загрузки оборудования.

Существует две группы методов измерения параметров вибраций: контактные, подразумевающие механическую связь датчика с исследуемым объектом, и бесконтактные, т.е. не связанные с объектом механической связью. В настоящее время основное внимание уделяется разработке бесконтактных методов измерения параметров вибраций. Преимуществом данных методов является отсутствие воздействия на исследуемый объект и малая инерционность.

Целью данной работы является разработка экспериментальной установки для бесконтактного оптического контроля параметров вибрации с помощью высокоскоростной видеокамеры.

Для достижения поставленной цели была создана установка, которая состоит из закрепленного на динамике тест-объекта, высокоскоростной видеокамеры VS-Ld-751-2001, контроллера ввода изображений VS2001 на шине PCI и персонального компьютера.

На персональном компьютере через звуковую карту задается вибрация заданного размаха и частоты. Далее с помощью высокоскоростной видеокамеры VS-Ld-751-2001 формируется изображение вибрирующего тест-объекта размером 2048×1 . Тест-объект представляет собой растровую структуру с набором темных и светлых полос с коэффициентом заполнения 0,5. Затем полученное изображение обрабатывается на персональном компьютере, по которому делается вывод о размахе и частоте вибрации.

В результате данной работы была создана экспериментальная установка для бесконтактного оптического контроля параметров вибрации с помощью высокоскоростной видеокамеры VS-Ld-751-2001. Применение данной установки позволит определять частоту вибрации в диапазоне от 20 до 100 Гц, амплитуду вибрации в диапазоне от 0,1 до 2 мм.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. С. П. Пронин

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧАТЬЮ ДОКУМЕНТОВ

И. В. Калгин, С. А. Алямкин, М. А. Бондарь
Новосибирский государственный университет

Для современного человека печать документов является востребованной услугой. В настоящее время предоставление услуг печати требует большой доли человеческого участия и связано с определёнными операционными затратами (арендная плата, электроэнергия и др.). Современный этап развития любой услуги или системы характеризуется переходом к использованию передовой технологии, стремлением добиться предельно высоких эксплуатационных характеристик используемого оборудования, необходимостью свести к минимуму участие оператора в процессе, уменьшить операционные издержки. Это возможно только при условии существенного повышения качества управления оборудованием, в том числе путем применения автоматизированной системы управления (АСУ).

Целью данной работы является разработка многопользовательского программного комплекса, позволяющего автоматизировать процесс предоставления услуг печати. Использование данного программного комплекса должно позволить значительно увеличить производительность труда персонала, обслуживающего принтеры, снизить расход электроэнергии и арендную плату, а также автоматизировать ведение бухгалтерии, учет пользователей и проведения операций. С точки зрения конечного пользователя сервиса, процесс печати становится более удобным за счет возможности печатать с домашнего ПК, круглосуточной возможности печати документов.

В рамках данной работы был создан программный комплекс основанный на свободно распространяемом ПО (БД MySQL, система печати CUPS, CMS Joomla). На данный момент, реализована система мониторинга состояния принтеров основанная на SNMP протоколе, написан универсальный фильтр для подсчета страниц, разработано API системы оплаты, написаны компоненты для CMS Joomla предоставляющие удобные инструменты управления системой и взаимодействия с пользователями.

Данная система успешно внедрена в сервис предоставления услуг печати в студенческом городке НГУ.

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

УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА. ГАЛЕРЕЯ ДЕМОНСТРАЦИЙ

А. А. Кошкарев

Новосибирский государственный университет

Разработан комплекс программ, численно решающих уравнения Максвелла в двумерном случае. Он позволяет рассчитать динамику электрического и магнитного полей в среде с заданными в пространстве свойствами: граничными условиями, начальными значениями электрического и магнитного полей, диэлектрической проводимостью, диэлектрической проницаемостью и магнитной проницаемостью.

Система уравнений Максвелла решалась численно, методом Лакса-Вендрофа. Свойства исследуемой схемы задавались посредством задания в узлах пространственной сетки соответствующих значений проводимости, диэлектрической и магнитной проницаемостей. Такой подход позволяет относительно просто задать все особенности исследуемой электрической схемы.

Основной алгоритм реализован в программе, написанной на языке программирования C++, имеет графический интерфейс, реализованный средствами мультиплатформенной библиотеки FLTK (www.fltk.org), что позволяет использовать программу в различных операционных системах.

Программа может использоваться студентами при изучения свойств некоторых электромагнитных волновых явлений, когда точное аналитическое или приближенное решение затруднено: дифракция на одной или нескольких щелях от ближней до дальней области, скин-эффект в задачах со сложной геометрией, распространение электромагнитных волн в пространстве со сложным распределением электрических свойств среды. Комплекс также позволит анализировать динамическое поведение конкретных сложных электрических схем.

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

СОЛИТОНЫ КОРТЕВЕГА – ДЕ ФРИЗА, РАСПРОСТРАНЯЮЩИЕСЯ В ДИСКРЕТНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЛИНИИ

А. А. Мигиренко, Б. Н. Яворский
Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики, г. Новосибирск

Уединенные волны солитоны Кортевега – де Фриза (КдФ) изучаются очень давно в связи с гравитационными волнами на поверхности мелкой воды [1]. В настоящее время круг нелинейных диспергирующих сред и аналогичные солитоны исследованы для волн в плазме, в жидкости с пузырьками газа [2] и в ряде других сред.

В качестве модели нелинейной диспергирующей среды можно взять дискретную электромагнитную линию передачи со специально подобранными дисперсионными и нелинейными характеристиками в мегагерцовом диапазоне радиочастот. В биофизике известно, что нервное волокно и биологические мембраны можно описывать как нелинейные двухпроводные линии передачи с активным элементом подобным p - n -переходу [3]. Интерес к электромагнитным солитонам вызван не только ввиду аналогий с процессами в сплошных средах, но также из-за их физических особенностей связанной с отсутствием макроскопических движений среды, и, помимо прочего, из-за возможных радиотехнических приложений [4].

В данной работе приводится эквивалентная электрическая схема линии передачи с барьерными варикапами (полупроводниковыми диодами). Выписывая законы Кирхгофа, выводится дифференциально-разностное уравнение для напряжения на n -й ячейке, которое можно свести к уравнению в частных производных. Анализ полученного уравнения в частных производных показал, что в электромагнитной линии возможно распространение как видеосолитонов КдФ, так и радиосолитонов нелинейного уравнения Шредингера. К настоящему моменту времени исследованы распространение солитонов Кортевега–де Фриза.

-
1. Р. Додд, Дж. Эйлбек, Дж. Гиббсон и др. Солитоны и нелинейные волновые уравнения. Под ред. А.Б. Шабата. М.: Мир, 1988, – 694 с.
 2. Д.Ч. Ким. Доклады РАН. Т. 184. № 5. С. 619-623 (2008).
 3. В. М. Журавлев, Письма в ЖЭТФ, том 75, вып. 1, с. 11-16 (2002).
 4. L. A. Ostrovskiy, K. A. Gorshkov, V. V. Papko. Solitons in Radiophysics, Physica Scripta. Vol. 20, 357-363 (1976).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Д. Ч. Ким.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Д. В. Огородников

ООО «Утилекс АйТи 2000»

Институт автоматике и электротетрии СО РАН

Новосибирский государственньй университет

По мере развития телекоммуникационных технологий сети сотовой связи становятся все более сложными и масштабными. Сеть типового оператора мобильной связи Сибирского федерального округа состоит из десятков тысяч технических объектов. Каждый день на центральный пункт отдела оперативно-технического управления поступают сотни тысяч сообщений об авариях, происходящих на этих объектах. Поэтому такая распределенная инфраструктура требует постоянного контроля состояния и поддержания высокой степени работоспособности сети.

В связи с этим возникают задачи управления топологией и конфигурацией, выявления и устранения происходящих аварий, оптимизации рабочих параметров сети. Данные задачи решаются с помощью централизованных систем управления сетью (ЦСУ), одной из которых является аппаратно-программная система Imanager M2000 компании Huawei Technologies. Однако эта система обладает слабо детализированным модулем контроля состояния объектов сети, который состоит из списка сообщений об авариях с возможностью сортировки.

В работе предложена архитектура автоматизированной системы оперативного сбора, анализа и обработки информации об авариях на телекоммуникационном оборудовании, а также регистрации проведения работ по устранению и предотвращению аварийных ситуаций.

Предложенная архитектура была реализована на базе ERP-системы Microsoft Dynamics Axapta, основанной на клиент-серверной архитектуре и работе с базой данных MS SQL Server. Система была внедрена на предприятии одного из трёх крупнейших операторов сотовой связи Сибирского федерального округа. В результате этого, во-первых, уменьшилось количество сотрудников отдела, и появились механизмы автоматизации заметной части их повседневного труда. Во-вторых, существенно сократился промежуток времени между началом каждой аварии и открытием работ по её устранению. И, в-третьих, появились средства для анализа информации об авариях за любой выбранный период времени по следующим параметрам: типы аварий, причины их появления, а также степени критичности и масштабности аварийных ситуаций в сети.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук В. И. Прокопенко, С. С. Игнатенко.

ОЦЕНИВАНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ СВЕТОВОГО ПЯТНА ПРИ ВЫСТАВЛЕНИИ ВЕРТИКАЛИ ГРАВИМЕТРА

Е. В. Позднякова

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Для решения многих задач геофизики, геологоразведки, астрономии и метрологии важно знать значение ускорения свободного падения g с погрешностью, не превышающей 10^{-9} . Для измерения ускорения силы тяжести используются гравиметры, основанные на различных физических явлениях.

Разрабатываемые в Институте автоматики и электрометрии гравиметры серии ГАБЛ основываются на методе свободного падения пробного тела. Пробным телом, свободно падающим в баллистическом блоке гравиметра, является уголкового отражатель. По времени падения уголкового отражателя в баллистическом блоке заданной длины определяется ускорение g . Одними из источников погрешности являются несовпадение направления лазерного луча в измерительном плече интерферометра с направлением движения отражателя (вертикалью), микросейсмические колебания, невысокая чистота вакуума, а также субъективный фактор. Измерения ускорения силы тяжести проводятся после операции выставления вертикали. Для контроля точности выставления вертикали производится видеозапись, по которой отслеживается смещение светового пятна, относительно оптического маркера. Целью данной работы является анализ возможности автоматизации выставления вертикали путем оценивания смещения светового пятна.

В работе создана модель последовательности кадров светового пятна с маркером, для которой были проведены оценки центра светового пятна медианным методом и методом центра тяжести. Наиболее точное определение центра светового пятна в присутствии шума дал метод центра тяжести. Так как камера не синхронизирована с началом падения пробного тела, был построен метод, позволяющий выделять активный участок реальной видеопоследовательности кадров. В результате, разработан алгоритм и создано программное обеспечение, вычисляющее смещение по оценкам центра тяжести светового пятна, что позволяет исключить субъективный фактор и выставить вертикаль лазерного луча с точностью в один дискрет. Программное обеспечение было протестировано на реальных видеопоследовательностях кадров, полученных при выставлении вертикали в ручном режиме.

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

УПРАВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОМ СПРЕЯ И РЕГИСТРАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

В. А. Симаков

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

Охлаждение теплонагруженных поверхностей с помощью импактных газокapelных потоков широко используется в технике из-за высокой интенсивности процессов теплопереноса. Однако, взаимодействие капель с поверхностью, особенно в условиях нагрева, характеризуется большим количеством различных факторов с трудом поддающихся учёту и теоретическому анализу. Поэтому при исследовании теплообменных процессов при спрейном охлаждении огромную роль играет эксперимент.

Главной особенностью данного теплофизического эксперимента является необходимость точного управления и синхронизации измерений большого числа разнообразных параметров с дальнейшей их параллельной обработкой.

Основным элементом экспериментального стенда по исследованию интенсификации теплопереноса при импульсном воздействии импактной водо-капельной струи является источник импульсного спрея. Управляемый источник газокapelной струи конструктивно выполнен в виде двухкамерного блока: для воздуха и воды. На плоской части источника расположены 16 жидкостных форсунок в виде матрицы 4×4 . На этой же поверхности для создания спутного воздушного потока установлены 25 газовых сопла с диаметром выходного отверстия 0.35 мм. Жидкостная форсунка представляет собой распылитель из четырех сопел диаметром 125 мкм включаемых одним электромагнитным клапаном. Исследовательская задача определила необходимость программного управления интенсивностью потока спрея во времени и координате на поверхности теплообменника. Для этого создано аппаратно-программное устройство на основе микропроцессора MSP430F, которое индивидуально управляет работой клапанов, задавая продолжительность работы, длительность (в диапазоне 2-10 мс) и частоту (в диапазоне 1-50 Гц) открытия инжектора. Регистрация локальных теплофизических параметров на поверхности теплообменника при взаимодействии с газокapelным потоком осуществляется двумя датчиками: локальным датчиком тепла и платиновым термосопротивлением, которые включены в информационно-измерительную систему, функционирующую под управлением разработанной программы на языке высокого уровня.

Научный руководитель – канд. техн. наук А. Д. Назаров.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ТРАНСФОРМАЦИИ ВИДЕОПОТОКОВ

В. В. Сукочев

Институт автоматики и электротриии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Наступление эпохи многоядерных GPU и многоядерных CPU означает, что мейнстримовые процессорные чипы — теперь параллельные системы. Более того, параллелизм масштабируется по закону Мура. Подгоняемые такими требованиями рынка, как расчёты в реальном времени, 3D графика высокого разрешения, программируемые GPU эволюционировали в высокопараллельные, мультипоточковые, многоядерные процессоры с громадной вычислительной мощностью и также очень высокой пропускной способностью памяти.

Начиная с 8ой серии видеокарт GeForce, существует возможность аппаратных расчетов с использованием ресурсов видеокарты. Архитектура графических процессоров существенно отличается от архитектуры CPU, что позволяет производить многопоточную обработку данных быстрее. Данная технология получила название CUDA. Так же корпорацией NVIDIA была выпущена библиотека для декодирования видео с использованием CUDA — cuvid.

Было проведено тестирование библиотеки cuvid и измерение производительности — разработано тестовое приложение для многопоточного декодирования видео. Выдвинуты требования, основные — скорость декодирования должна превышать программную минимум в 2 раза, поддержка деинтерлейсинга, простота интеграции в сторонние приложения и надёжность работы. Проведён анализ существующих на базе cuvid продуктов — не один из них не удовлетворяет данным требованиям полностью.

Проведён анализ результатов и изучены потенциальные возможности для оптимизации — разработан алгоритм, осуществляющий декодирование с минимальными затратами ресурсов. Разработана архитектура библиотеки и её внешних интерфейсов — процесс декодирования разделён на отдельные независимые потоки, каждый из которых выполняет свою задачу в цепочке. Реализована библиотека в виде фильтра DirectShow. Произведена оптимизация производительности до требуемого уровня — уменьшено время простоя отдельных этапов декодирования.

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

НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

М. В. Тараканова, В. А. Филимонов

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Одной из важнейших задач прикладной статистической радиофизики является построение оптимальных оценочных формул различных измерений. В случае если объектом измерений является случайный процесс, как правило, возможным представляется получить лишь несколько реализаций процесса, а иногда лишь некоторые отсчеты внутри одной реализации. В этом случае оценочные формулы содержат максимум информации о параметрах измеряемого случайного процесса. Критериями качества полученных оценок являются несмещенность и эффективность. В данной работе предлагается новый метод оценки параметров случайных процессов, на примере оценки коэффициента диффузии винеровского случайного процесса с равномерным сносом.

В ходе данной работы был предложен и разработан новый метод оценки параметров случайных процессов, в классе однородных функций. Благодаря этому методу стало возможно определение нижней границы дисперсии однородной оценки, что позволяет определить минимальное значение дисперсии, при котором оценка будет наиболее эффективной. Значение нижней границы дисперсии оценки ранее не было определено ни в одном методе. Оценка, полученная новым методом, является не только наиболее эффективной, но и несмещенной. В радиотехнических, геофизических приложениях, а так же в области передачи информации предпочтение отдается методам, с помощью которых, возможным представляется получить именно несмещенные оценки. Сравнение, которое было проведено, с результатами, полученными другими, традиционными методами оценок параметров случайных процессов, показало преимущество нового, предложенного метода. Для подтверждения результатов, предложенной теории был поставлен численный эксперимент, в ходе которого была построена модель винеровского случайного процесса и проведена оценка его параметров различными способами. Результаты данного эксперимента наглядно подтвердили эффективность нового метода.

Поскольку, данная теория была проверена на классе винеровских процессов, в дальнейшем планируется обобщение ее на более широкий класс процессов, а так же более детальное изучение модели наиболее эффективной оценки. Целью дальнейшей работы является построение универсальной формы оценки параметров случайных процессов.

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

ПОВЫШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. А. Тычинская

Институт автоматики и электротриии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Обработка изображений является актуальной задачей для прикладных исследований с использованием оптических приборов. Алгоритмические методы позволяют несколько расширить возможности прибора, улучшая качество регистрируемых изображений.

Применительно к задаче повышения разрешения трехмерных изображений конфокальной микроскопии в работе выбран итерационный алгоритм, основанный на методе взвешенных наименьших квадратов при наличии ограничения, учитывающего неотрицательность сигнала [1].

Для исследования работы алгоритма проводится сравнение исходного тестового изображения с восстановленным изображением в критерии среднеквадратичной ошибки. В качестве тестовых изображений выбраны черно-белые контрастные изображения геометрических объектов. Искаженные изображения (входные данные алгоритма восстановления) получены посредством моделирования оптической системы конфокального микроскопа. Функция рассеяния точки задана аналитически с учетом особенностей микроскопа [2].

В ходе проведения серии тестов было показано, что наилучшие результаты восстановления достигаются за счет наложенного ограничения на неотрицательность сигнала. Также показано, что введение весов улучшает качество восстановления только при учете неотрицательности сигнала, практически не влияя на качество решения, полученного без этого ограничения. В сравнении с Винеровским фильтром метод взвешенных наименьших квадратов показал лучшие результаты восстановления в обоих случаях.

1. Markham J. and Conchello J.-A. Fast maximum-likelihood image-restoration algorithms for threedimensional fluorescence microscopy // Optical Society of America. – 2001. – V. 18, N. 5. – P. 1062-1071.

2. Zhang B., Zerubia J., and Olivo-Marin J.C. Gaussian approximations of fluorescence microscope point-spread function models // Applied Optics. – 2007. – V. 46, N. 10. – P. 1819-1829.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПАКЕТНОГО OFDM ПРИ НАЛИЧИИ ШУМОВ В КАНАЛЕ СВЯЗИ

М. М. Цицверо
Омский государственный университет

В последние 15 лет наиболее эффективным способом уплотнения каналов связи признано ортогональное частотное мультиплексирование OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), основанное на быстром преобразовании Фурье. Однако недавно появились новые способы уплотнения. Вейвлетное OFDM [1] для формирования сигнала использует только вейвлетную функцию и ее масштабные копии. При использовании вейвлетного OFDM передача по субканалам осуществляется с различными скоростями. Первая реализация вейвлет-пакетного OFDM [2,3], так называемая М-зонная вейвлетная модуляция MWM (M-band Wavelet Modulation) использует только вейвлет-пакетные функции одного масштаба, то есть каждый символ передается с одной и той же скоростью. Обобщением этих видов модуляции является вейвлет-пакетное OFDM, использующее вейвлет-пакетные функции разных масштабов. Причина появления этих методов заключается в возможности их адаптации к различным техническим нуждам вследствие многообразия вейвлетных и вейвлет-пакетных базисов (в противоположность Фурье-базису, содержащему только синусы и косинусы).

В настоящей работе вейвлет-пакетное OFDM исследуется при наличии в канале связи шумов, локализованных по времени, и шумов, локализованных по частоте. Полученные результаты показывают, что при наличии таких шумов вейвлет-пакетное OFDM эффективно по сравнению с Фурье OFDM, вейвлетным OFDM и MWM OFDM.

1. Gregory Wornell, Signal Processing with Fractals: A Wavelet Based Approach /Gregory Wornell. - Prentice Hall PTR, 1996. - 177 p. - ISBN 0-13-120999-X.

2. R. R. Coifman, Y. Meyer, Orthonormal wave packet bases, preprint, Numerical Algorithms Res. Group, Yale Univ., New Haven, CT, 1989.

3. A. R. Lindsey, Wavelet packet modulation for orthogonally multiplexed communication, IEEE Trans. Sig. Process., vol. 45, no. 5, pp.1336-1339, May 1997.

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

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ РИДБЕРГОВСКИХ АТОМОВ

Г. О. Юданов

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

Экспериментальные исследования высоковозбужденных (ридберговских) атомов представляют значительный интерес для квантовой информатики. В ИФП СО РАН проводятся эксперименты с одиночными холодными ридберговскими атомами рубидия. Для управления экспериментом, сбора экспериментальных данных и автоматической обработки данных в режиме реального времени нами был разработан специализированный программный комплекс, использующий USB модуль АЦП-ЦАП LCARD™ E14-440. Данный комплекс, реализованный средствами среды визуального программирования NI Labview 8.2™, позволяет записывать спектры микроволновых переходов между ридберговскими состояниями и спектры резонансного диполь-дипольного взаимодействия с разрешением по числу атомов, регистрируемых в эксперименте.

Для управления частотой СВЧ-генератора или электрическим полем в области возбуждения ридберговских атомов на выход ЦАП подается пошагово возрастающее напряжение в диапазоне от 0 до 10 В. При фиксированном значении напряжения, установленного на выходе ЦАП, проводится сбор данных по двум каналам АЦП-0 и АЦП-1. На входе каждого канала АЦП измеряется напряжение, пропорциональное числу атомов, находящихся в заданном квантовом состоянии. Данные записываются в буфер синхронно с лазерными импульсами, возбуждающими ридберговские атомы.

По окончании заполнения буфера проводится обработка данных: измеряется количество событий, соответствующих регистрации заданного числа атомов (от 1 до 5) в обоих каналах. Если это число оказывается меньше порогового значения, то цикл сбора данных повторяется для набора дополнительной статистики. По окончании сбора данных вычисляется и выводится на графики населенность ридберговских состояний, соответствующая выборке с заданным числом зарегистрированных атомов (от 1 до 5).

Разработанный программный комплекс будет использоваться в экспериментах по исследованию диполь-дипольного взаимодействия ридберговских атомов.

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

МЕТОД ЦИФРОВОЙ ТРАССЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МИКРОННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЕЙ СКОРОСТИ В МИКРОКАНАЛАХ

А. А. Ягодницына

Новосибирский государственный университет

Метод цифровой трассерной визуализации с микронным разрешением - Micro Particle Image Velocimetry (Micro PIV) позволяет измерять мгновенные и средние поля скорости в выбранном сечении потока для областей измерения субмиллиметрового размера [1]. Поле скорости восстанавливается по перемещениям микрочастиц в потоке за известный промежуток времени между короткими вспышками источника света. Обычно поток засеивается флуоресцентными трассерами, которые переизлучают свет, поглощенный частицами, на большей длине волны, по сравнению с длиной волны источника освещения. Переизлученный свет выделяется оптическим фильтром и регистрируется светочувствительной матрицей цифровой камеры.

В связи с влиянием Броуновского движения трассеров на случайную ошибку определения скорости традиционно метод Micro PIV применяется для измерения среднего поля скорости. Наиболее эффективным алгоритмом вычисления распределения средней скорости является осреднение корреляционных функций по нескольким независимым измерениям [2].

В рамках данной работы создана экспериментальная установка по измерению полей скорости в каналах субмиллиметрового размера на базе инвертированного эпифлуоресцентного микроскопа CarlZeiss Axio Observer.Z1. Рассчитана средняя скорость в центральном сечении прямоугольного микроканала сечением 200×50 мкм. Сравнение профиля продольной скорости в канале с экспериментальными результатами других авторов и результатом численного моделирования показало хорошее совпадение.

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

2. C. D. Meinhart, A piv algorithm for estimating time-averaged velocity fields, *Journal of Fluids Engineering*. Vol.122, pp. 285-729 (2000).

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

АЭРОФИЗИКА И НЕРАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ

ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЗАИМНОЙ ДИФФУЗИИ РАСПЛАВОВ СИСТЕМЫ НАТРИЙ–СВИНЕЦ

Р. Н. Абдуллаев

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

Жидкие сплавы натрия со свинцом рассматриваются как потенциальные теплоносители ядерных реакторов на быстрых нейтронах [1]. Эти расплавы обладают рядом достоинств по сравнению с чистым натрием, в частности – пожаро- и взрывобезопасностью при контакте с водой. В настоящее время пойдут целенаправленные экспериментальные исследования свойств сплавов Na–Pb для выбора оптимального теплоносителя. Однако их теплофизические свойства исследованы недостаточно надежно и подробно. В основном исследования системы Na–Pb проводились в области богатой свинцом.

В данной работе методом просвечивания образцов узким пучком гамма-излучения исследованы температурные зависимости плотности расплава чистого натрия и жидких сплавов системы натрий-свинец, содержащих до 10 ат. % Pb, при температурах от линии ликвидуса до 950 К. В изученных интервалах плотность расплавов линейно зависит от температуры. Определен скачок плотности натрия при фазовом переходе твердое тело – жидкость. Построены температурные и концентрационные зависимости термических свойств жидкой системы Na–Pb. Изучена кинетика гомогенизации расплавов Na–Pb, при температурах 550-950 К. Методика исследований основана на непосредственной регистрации профилей концентрации и плотности в неомогенных жидких образцах и их эволюции во времени. Из этих экспериментов определены коэффициенты взаимной диффузии D . Проведено сопоставление полученных результатов с литературными данными. Подтверждено, что поведение термических свойств жидкой системы Na–Pb сильно отклоняется от законов идеального раствора. Показано, что коэффициенты взаимной диффузии расплавов, богатых натрием, примерно в три раза превосходят величины D для жидких сплавов с содержанием Pb более 70 ат. %.

Работа выполнена при частичной поддержке Федерального агентства по образованию.

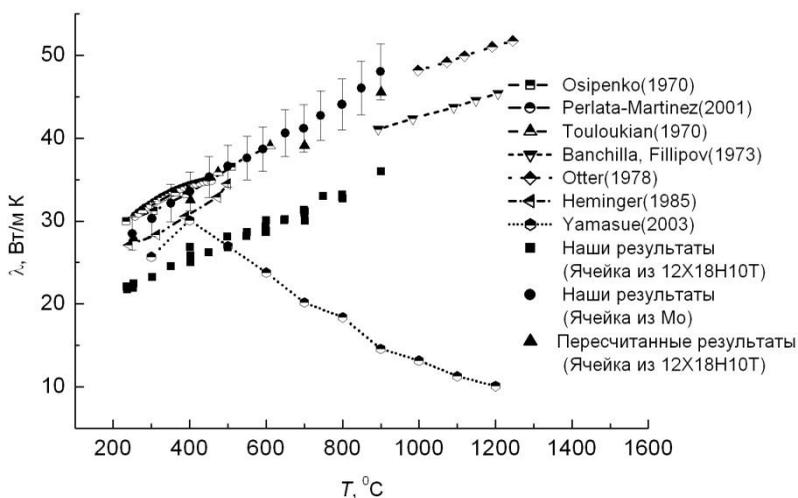
1. Засорин И. И., Кузнецова Л. М., Кумской В. В. и др. Исследование свойств сплава натрий-свинец с целью выбора состава пожаробезопасного теплоносителя // Вопросы атомной науки и техники. –2008, № 4. – С. 72-77.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Р. А. Хайрулин.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА ОЛОВА В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ

А. Ш. Агажанов, И. В. Савченко
Новосибирский государственный университет,
Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

Методом лазерной вспышки [1] измерены температуропроводность и теплопроводность жидкого олова в интервале температур 250–900 °С (рисунок). Исследовались образцы марки ОВЧ-000 с содержанием основного компонента 99,999 мас. %. Использовались измерительные ячейки, изготовленные из стали марки 12Х18Н10Т и молибдена, температуропроводность которых измерялась в дополнительных экспериментах.



При использовании молибденовых ячеек результаты измерений хорошо согласуются с наиболее надежными литературными данными, а для стальных ячеек – лежат заметно ниже последних. Дополнительный анализ показал, что такое расхождение связано с изменением свойств нержавеющей стали при контакте с жидким оловом.

1. Станкус С. В., Савченко И. В. Измерение коэффициентов переноса тепла жидких металлов методом лазерной вспышки // Теплофизика и аэромеханика. – 2009. – Т. 16, № 4. – С. 625-632.

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО МИКРОКАНАЛА

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

В работе представлены результаты экспериментов по определению коэффициента гидравлического сопротивления микроканалов круглого сечения, но различной формы: прямолинейного и криволинейного каналов. Диаметр каналов в обоих случаях составлял 100 мкм. Диапазон чисел Рейнольдса составлял от 110 до 2200. Экспериментальные результаты сравниваются с расчетами, выполненными с помощью программного пакета Fluent.

Была разработана технология изготовления микроканалов круглого сечения. Технология позволяла создавать отверстия в стенке микроканала. На основе разработанной технологии были изготовлены два стенда: один с прямолинейным другой с криволинейным микроканалами. Криволинейный микроканал представлял собой канал U-образной формы с диаметром закругления около 3 мм. Длина криволинейного канала составляла 19,97 мм, прямолинейного 19,37 мм. По длине каналов было сделано по 4 отверстия для измерения статического давления.

Определено распределение давления жидкости вдоль прямолинейного и криволинейного каналов. По данным измерения давления определены коэффициенты гидравлического сопротивления микроканалов. Показано, что для прямолинейного микроканала распределение давления в области развитого течения для всех экспериментальных чисел Рейнольдса носит линейный характер, и коэффициент гидравлического сопротивления находится в соответствии с теоретическим значением для круглых каналов. Для криволинейного микроканала распределение давления вдоль канала не линейно, а общий перепад давления при одинаковом расходе жидкости превышает перепад давления для прямолинейного микроканала.

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

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ГАЗОСТРУЙНОМ ОСАЖДЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЁНОК ИЗ ПРОДУКТОВ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ C_3F_6O

М. Н. Андреев, А. И. Сафонов
Новосибирский государственный университет,
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

С точки зрения получения полимерных плёнок с заданными свойствами представляется интересным выявление взаимосвязи между свойствами получаемых плёнок и составом продуктов разложения газа - предшественника.

Осаждение производилось из продуктов термического разложения газа окиси гексафторпропилена C_3F_6O , которое производилось в вакуумном термическом реакторе [1]. Образующие в ходе пиролиза продукты разложения истекали через сопло реактора в камеру осаждения с формированием струи и далее подвергались процессу полимеризации на поверхности подложки с образованием плёнки.

Варьирование температуры реактора позволяет проводить разложение газа C_3F_6O при различных температурах, что в свою очередь во многом определяет химический состав газовой струи. Из литературы [2] известно, что процесс полимеризации на подложке существенно зависит от наличия в газе-предшественнике определённых компонент-продуктов распада.

Проведённые масс-спектрометрические исследования показали изменение доли этих компонент в струе с изменением температуры разложения газа.

Различная морфология и толщина полученных плёнок в сопоставлении с результатами масс-спектрометрии позволило выявить взаимосвязь между составом продуктов пиролиза газа и скоростью осаждения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №09-08-00345.

1. М. Н. Андреев, А. К. Ребров, А. И. Сафонов, Н. И. Тимошенко, Исследование процессов осаждения тонких тефлоноподобных пленок газоструйным методом // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2007. Том 2, выпуск 4.

2. A. C. Rastogi, S. B. Desu. Characterization of polymeric fluorinated carbon $m(C:FX)_n$ thin films with low dielectric constant. // Appl. Phys. A 83, p.p.57 – 66, (2006).

Научные руководители – акад. РАН А. К. Ребров, канд. физ.-мат. наук Н. И. Тимошенко.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ НАНОСОВ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ПРИБОЙНОГО ПОТОКА (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)

Я. С. Бебиева

Московский физико-технический институт
(государственный университет)

В представленной работе рассматриваются зоны потока заплеска волн. Актуальность темы обусловлена необходимостью оценки состояния побережья, так как Калининградское побережье Балтийского моря подвержено разрушению. Цель данной работы: изучение процессов, изменяющих очертания морской береговой линии Вислинской косы в районе поселка Коса. В настоящей работе стояли задачи: разработать собственную модель, демонстрирующую процесс перемещения наносов вдоль берега; проанализировать полученные профили берега и сравнить с данными измерений 2007 и 2008 годов.

При анализе береговых перемещений можно выделить два процесса: инерционное движение и движение под действием сил тяжести. Результирующая сила образует прибойный поток, захватывающий частицы наносов, которые совершают миграции вдоль уреза и по вертикали. Величина перемещения наносов пропорциональна косинусу угла α подхода волны: $l = m \cdot \cos \alpha$. Одна из целей работы - выяснить имеет ли место аналогичная связь для данного региона. По теории Мунх-Петерсена о движении морских наносов наносодвижущая сила включает ряд дополнительных факторов, влияющих на значение коэффициента m в зависимости от характеристик исследуемого водного бассейна. Таким образом, для решения этой задачи необходимо учитывать структуру прибрежной зоны.

Были выполнены тригонометрические нивелировки части морского побережья Балтийского моря. Исследования проводились по типичным поперечникам (реперам), установленным на участках с разной интенсивностью и направленностью береговых процессов.

Экспериментально обнаружено, что перемещение наносов зависит от размеров частиц грунта. Выявлен эффект, состоящий в том, что в результате действия инерционной силы и силы тяжести, действующих в различных направлениях, водные струи на поверхности пляжа при заплеске волн представляют собой асимметричные кривые, вида парабол. К настоящему моменту описана собственная модель перемещения наносов, установлена динамика элементов берега за период 2007-2009 гг.

Практическая значимость работы: полученные профили региона включены в пятилетний береговой мониторинг Вислинской косы.

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

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ СО СЛОЕМ НАГРЕТОГО ГАЗА

Т. А. Бобарькина

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

Существующие экологические ограничения на перепад давления на головной ударной волне, создаваемой при полете сверхзвукового самолета, стимулируют разработку активных методов управления параметрами ударных волн (УВ). Данная работа направлена на исследование возможности снижения интенсивности УВ путем воздействия на возмущенное течение вблизи модели (конус на цилиндре $\beta_k=15^\circ$) слоем нагретого газа. На основании аналитического и численного анализа в рамках теории коротких волн [1] показано, что в зависимости от параметров падающей УВ (интенсивность, длина волны) и теплового слоя (толщина, температура) интенсивность прошедшей тепловой слой УВ может как уменьшаться, так и увеличиваться. Прямые измерения температуры потока по оси теплового слоя показали, что реализуемые в нем температуры ($T_{ст}=(2,85-1,73)T_0$) превышают критические величины, предсказывающие снижение перепада давления на УВ после его прохождения.

В ходе проведения экспериментов обнаружено значительное влияние нестационарности течения в области взаимодействия теплового слоя с УВ на распределение давления вблизи модели. При этом на профилях относительного избыточного давления формируется область увеличения избыточного давления, которая замыкается УВ от модели. Можно предположить, что эффект обусловлен взаимодействием УВ с тепловым слоем, которое приводит к распространению возмущений вверх по потоку внутри дозвукового теплового слоя, вызывая его расширение, которое генерирует волну сжатия. В результате сформировавшаяся область увеличения избыточного давления перед головной УВ приводит к уменьшению перепада давления на УВ на величину возмущенного давления в конце этой зоны. Данный результат указывает на возможность снижения интенсивности головной УВ, создаваемого ЛА, на больших расстояниях.

1. Охитин В.Н., Меньшаков С.С. О защитных свойствах слоя горячего воздуха // ПМТФ. 2002. Том 43, N4, С 87-97.

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

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛН ПЛАВУЧЕСТИ

М. А. Бондарь
Новосибирский государственный университет,
ООО «Унискан»

В настоящее время волны плавучести хорошо известны, эти волны изучаются в океане и атмосфере, теория развита и подтверждается наблюдениями [2, 3]. Но исследования преимущественно проводятся в пренебрежении вязкостью и теплопроводностью среды. Основной исследований является работа [1]. В статье показано, что если рассматривать газ как вязкий и теплопроводный, то волны плавучести работают как тепловой насос, перекачивая тепло от верхних холодных слоёв воздуха к нижним более тёплым слоям, создавая и поддерживая отрицательный градиент температуры в атмосфере.

Данная работа имеет два направления: численное моделирование и экспериментальное исследование волн плавучести. На первом этапе численного моделирования рассматривается течение невязкого нетеплопроводного газа стратифицированного по плотности в поле массовой силы в прямоугольной области. Были получены адиабатические колебания газа, которые хорошо согласуются с аналитическим решением [2]. Дальнейшими этапами численного эксперимента являются: введение вязкости и теплопроводности, а также изменение геометрии расчётной области. Из результатов статьи [1] следует, что можно создать все условия для возникновения и работы волн плавучести в экспериментальной установке для получения температурной стратификации. В настоящее время подготавливается установка, которая позволит исследовать механизм работы волн плавучести, получить ответы на многие качественные и количественные вопросы.

Полученные в этой работе результаты помогут в разработке приборов для промышленного получения холода, в основе которых лежит эффект перекачки тепла волнами плавучести.

-
1. В. И. Меркулов, Волны плавучести как тепловой насос, ИФЖ, Т. 82 № 1, 2009 г.
 2. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. М.: Мир, 1986. Т. 1
 3. Тернер Дж. Эффекты плавучести в жидкостях. М.: Мир, 1977

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

ЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОСКОЙ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ И СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С. П. Борисов

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

Интерес к устойчивости детонационных волн (ДВ) в последнее время заметно вырос в связи с исследованиями возможности создания детонационных двигателей и проблемами взрывобезопасности. Существенным шагом в данном направлении было появление работы [1], в которой вместо применявшегося ранее (в частности, Дж. Эрпенбеком [2]) технически сложного и не позволявшего прямо строить кривые нейтральной устойчивости подхода, основанного на преобразовании Лапласа, для исследования устойчивости детонационных волн был использован гораздо более простой и физически прозрачный метод нормальных мод.

В настоящей работе данный метод использован для анализа устойчивости плоской детонационной волны с простейшей моделью химической кинетики, включающей одну необратимую реакцию, при параметрах, примерно соответствующих детонации в водородно-кислородной смеси. Выполнено также сравнение с данными численного моделирования, полученными путем решения полных нестационарных уравнений Эйлера. Для такого решения использовался численный код, разработанный в лаборатории вычислительной аэродинамики ИТПМ СО РАН [2].

Для практических приложений наиболее актуальным является исследование устойчивости детонационного фронта с использованием детального химического механизма. В настоящее время разрабатывается программа расчета устойчивости, включающая такой механизм и реальные термодинамические свойства компонент реагирующей смеси.

-
1. Lee H.I., Stewart D.S. Calculation of linear detonation instability: one-dimensional instability of plane detonation. *J. Fluid Mech.*, 1990, Vol. 216, pp. 103-132.
 2. Erpenbeck J.J. Stability of idealized one-reaction detonations. *Phys. Fluids*, 1964, Vol. 7, pp. 684-696.
 3. Davidenko D.M., Gökalp I., Kudryavtsev A.N. Numerical study of the continuous detonation wave rocket engine. *AIAA Paper No. 2008-2680*, 2008.

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

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ СЛОЖНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ НА ПРИМЕРЕ ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ

О. А. Булгакова

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

Тонкоплёночные технологии являются перспективным направлением развития приборов на основе бинарных полупроводников [1]. Для напыления нанокристаллических плёнок сложных материалов успешно используется техника импульсной лазерной абляции (ИЛА). Кроме того, ИЛА является мощным инструментом для точной и бережной микрообработки поверхностей. Большое внимание уделяется исследованию изменению химического состава поверхности при лазерной обработке сложных материалов. К настоящему времени накоплен большой опыт теоретических исследований ИЛА классических полупроводников. Теоретическому же моделированию поведения сложных полупроводников под действием лазерного излучения уделяется мало внимания [2], несмотря на интенсивные экспериментальные исследования.

В работе представлена модель наносекундной лазерной абляции сложных полупроводников с учётом нарушения стехиометрического состава вследствие различия в летучести компонентов материала. Модель основана на решении уравнений теплопроводности и диффузии и учитывает изменение свойств материала в зависимости от температуры, состава и фазового состояния. Во внешнем слое облучаемого образца, где происходит нарушение стехиометрии, оптические свойства описываются в рамках концепции эффективной среды Лоренца-Лоренца. Для учета плазменного экранирования используется модель эффективного плазменного факела. На примере теллурида кадмия для экспериментальных условий работ [3, 4] исследована динамика нагрева, плавления и испарения материала наносекундными импульсами K_gF лазера. При моделировании режимов многоимпульсного облучения описан эффект насыщения состава поверхности и выявлен механизм восстановления стехиометрии материала с помощью регулирования условий облучения.

-
1. Shen W.P., Kwok H.S., Appl. Phys. Lett., 65, 2162 (1994)
 2. Zhvavyi S.P., Zykov G.L., Appl. Surf. Sci., 253, 586 (2006)
 3. Brewer P.D., Zinck J.J., Olson G.L., Appl. Phys. Lett., 57, 2526 (1990)
 4. Abe K., Eryu O., Nakashima S., et.al. J. Electron. Mater., 34, 1428 (2005)

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

ИНИЦИИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ ПРИ ПОМОЩИ РЕЛЬСОВОГО ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ ПЛАЗМЫ

А. И. Голубов

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

Представлены результаты исследования инициирования горения сверхзвукового потока метано-воздушной смеси в канале постоянного сечения при помощи плазмы, генерируемой рельсовым электродинамическим ускорителем (РЭУ). Для проведения экспериментов была построена установка, состоящая из аэродинамической трубы импульсного действия и РЭУ. Отлажены методики измерения статического давления потока, измерения тепловых потоков при помощи микро-термопары, а также регистрации эмиссионного спектра излучения газа из канала. Получены зависимости распределения статического давления вдоль канала от времени, которые показали, что характер распространения по потоку волны сжатия, рождаемой при инъекции плазменного сгустка, существенно изменяется при подаче метана в поток. Зарегистрирован спектр излучения газа из канала, который позволил обнаружить образование молекул воды вниз по потоку, а также другие спектральные линии, характерные для углеродо-воздушного пламени. Измерения теплового потока показали выделение тепла, связанного с горением. Анализ работ [1-2] показал, что метод инициирования горения при помощи плазмы, генерируемой РЭУ, имеет энергетические преимущества в сравнении с методами, основанными на использовании дугового разряда, а также расширяет диапазон параметров потока, при которых инициирование горения возможно.

В результате работы удалось зарегистрировать горение метано-воздушной смеси в канале постоянного сечения с числом Маха потока 3, статическим давлением 15 кПа и температурой торможения 300К.

1. S. B. Leonov, D. A. Yarantsev, Plasma-induced ignition and plasma-assisted combustion in high speed flow, Plasma Sources Sci. Technol. 16 (2007), pp. 132 – 138.

2. A. P. Ershov, S. A. Kamenshchikov, A. A. Logunov, and V. A. Chernikov The combustion of high-velocity air-propane flow, initiated by a longitudinal-and-Transverse DC Discharge, High Temperature, 2009, Vol. 47, No. 5, pp. 613–619.

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

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТРЕХМЕРНЫХ И ДВУМЕРНЫХ ВОЛН ПРИ ПЛЕНОЧНОМ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ

В. В. Гузанов, А. З. Квон
Новосибирский государственный университет
Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования основных закономерностей взаимодействия между трехмерными уединенными и двумерными возбужденными регулярными волнами. Исследование проводилось на вертикально стекающих пленках жидкости в диапазоне чисел Рейнольдса пленочного течения $3 < Re < 30$ с использованием жидкостей с различными физическими свойствами. Измерения мгновенного распределения толщины пленки с высоким пространственным и временным разрешением проводились с помощью высокоскоростного метода лазерно-индуцированной флуоресценции.

Эксперименты показали универсальность характера взаимодействия уединенных трехмерных волн с высокочастотными двумерными волнами. В широком диапазоне режимных параметров эксперимента показана устойчивость трехмерных волн к таким взаимодействиям, установлено существование стационарных режимов взаимодействия, при которых характеристики трехмерной волны в процессе взаимодействия совершают слабые периодические колебания относительно постоянных во времени значений. Установлено, что уровень колебаний трехмерных волн в процессе взаимодействия с двумерными не зависит от их амплитуды и определяется амплитудой двумерных волн и физическими свойствами жидкости.

Предварительный анализ показал, что характеристики стационарных трехмерных волн на поверхности пленки, покрытой регулярными двумерными волнами, отличаются от характеристик стационарных трехмерных волн на гладкой пленке.

Научный руководитель – С. М. Харламов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ПЛАМЕНИ МЕТАНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

Д. А. Дектерев, А. А. Дектерев

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

К горелочным устройствам для дожигания попутных нефтяных газов предъявляется ряд повышенных требований: широкий диапазон горения рабочей смеси, низкий уровень шумов, допустимая эмиссия вредных веществ, удовлетворяющие рабочие температуры и др. На эти характеристики влияют как технические параметры горелочного устройства, так и физико-химический состав топлива (стехиометрия газовой смеси, дисперсные включения нефти и воды) и организация потока (степень закрутки, профиль и величина скорости потока).

На практике современные камеры сгорания используют режим обедненного предварительно перемешанного горения для достижения минимального выброса вредных веществ. Однако применение этой технологии затруднено тем, что обедненное горение подвержено влиянию неустойчивостей, вызванных различными факторами.

В институте теплофизики СО РАН автором на модельном горелочном устройстве с выходным соплом в форме сопла Витошинского и возможностью регулировки состава смеси, средней скорости и закрутки потока было проведено исследование горения метана в ограниченном пространстве. Проанализированы пламена различной структуры.

Используя пакет программ SigmaFlow разработана математическая модель горения метано-воздушной смеси в ограниченном и неограниченном пространстве. Большое внимание было уделено вопросу выбора и обоснования механизма горения. В результате была построена модель, позволяющая качественно и количественно воспроизводить результаты лабораторных экспериментов для исследованных режимов горения.

Отличие расчетных и экспериментальных значений температуры и концентраций на выходе из рабочего объема не превышало нескольких процентов, что укладывается в погрешности экспериментальных измерений.

На основе разработанной модели проведено исследование ряда горелочных конструкций по дожиганию попутных нефтяных газов.

В дальнейшем предполагается детальное экспериментальное исследование полей скорости и концентрации компонент и совершенствование математической модели.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА НАНОПОРОШКОВ НИТРИДА И ОКСИДА ТИТАНА В ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

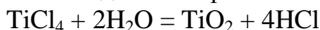
А. О. Замчий

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

Работа направлена на исследование процесса формирования нанопорошков нитрида и диоксида титана в плазмохимическом реакторе с жидкометаллическими электродами [1]. Нанопорошки нитрида титана синтезировались путем восстановления тетрахлорида титана в потоке азот-водородной низкотемпературной дуговой плазмы.



Синтез наночастиц диоксида титана имел место при добавлении в поток азот-водородной плазмы водяного пара.



Эксперимент проводился на плазмохимическом реакторе с жидкометаллическими электродами (ПХР-500). В данном плазмотроне решена проблема эрозии электродов, что позволяет использовать такие химически активные плазмообразующие газы, как водород, аммиак, пары воды.

Тетрахлорид титана в газовой фазе подавался непосредственно в плазменную дугу. Формирование частиц протекало при атмосферном давлении и температуре внутри реактора 15000С. Время пребывания частиц в реакторе составило порядка 1 секунды. Температура в дуге - 65000К.

Синтезированные наночастицы собирались с помощью фильтра, через который откачивался газ из реактора.

Исследование продуктов синтеза при помощи сканирующего электронного микроскопа (JEOL JEM - 2010) показало, что синтезированные частицы имеют сферическую форму с характерным размером 20 – 80 нм.

В работе показана возможность плазмохимического синтеза наночастиц нитрида и диоксида титана в плазмохимическом реакторе с жидкометаллическими электродами путем непосредственного ввода смеси тетрахлорида титана и плазмообразующих газов в плазменную дугу.

1. М. Р. Предтеченский, О. М. Тухто, И. Ю. Коваль, Плазмохимический реактор с расплаваемыми электродами: от исследований к новым технологиям. Химия высоких энергий, №3 2009, с. 149 – 154.

Научный руководитель – О. М. Тухто.

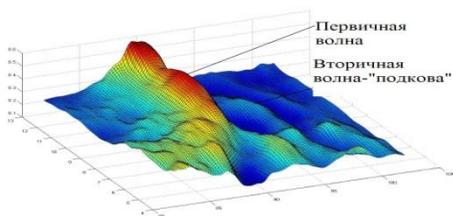
ТРЕХМЕРНАЯ СТРУКТУРА ВОЛН НА ПЛЕНКЕ ЖИДКОСТИ В КОЛЬЦЕВОМ ГАЗОЖИДКОСТНОМ ТЕЧЕНИИ

С. В. Исаенков

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

В работе исследовалась эволюция волн на поверхности пленки жидкости, обдуваемой спутным потоком газа, методом лазерно-индуцированной флюоресценции (LIF). Ранее было установлено [1], что волны бывают двух видов: первичные и вторичные. Стандартным сценарием эволюции вторичных волн является рождение вторичной волны на заднем склоне первичной, распространение с меньшей скоростью и поглощение ее следующей первичной волной.

Эксперименты работы [1] были проведены с использованием камеры с линейным датчиком, что позволяло проводить измерения лишь в одном продольном сечении канала. Наши результаты были сняты камерой с прямоугольным датчиком, что дало возможность исследовать трехмерную структуру волн (см. Рис.).



Первичные волны в большинстве случаев занимали всю видимую область канала (~14 мм), однако их размер, по-видимому, меньше периметра канала, поскольку в рабочей области нередко наблюдались края первичных волн. Генерация вторичных волн происходила как в центре, так и на краях первичных волн, и было замечено, что в обоих случаях сценарий эволюции вторичных волн был одинаков и соответствовал стандартному. Можно выделить две основных формы вторичных волн: плоские волны и волны в виде подковы, выгнутой против течения. Плоские волны имеют характерный поперечный размер от 2 до 12 мм, подковообразные волны – от 3 до 9 мм.

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

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

СОРБЦИЯ И ДЕСОРБЦИЯ ГЕЛИЯ ПОЛЫМИ СТЕКЛЯННЫМИ МИКРОСФЕРАМИ

И. В. Казанин, А. Ю. Пак, А. С. Верещагин
Новосибирский государственный университет
Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН

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

Можно выделить два основных принципа лежащих в основе некриогенных методов разделения газовых смесей: мембранный и адсорбционный. В промышленных масштабах могут быть использованы мембранные установки. Наиболее подходящим материалом для мембран при извлечении гелия из природного газа может быть кварцевое стекло, которое является проницаемым для гелия и практически абсолютно непроницаемым для других компонент природного газа. Если в качестве мембран использовать полые стеклянные микросферы, можно значительно увеличить площадь поверхности, через которую происходит процесс разделения компонент газовой смеси и тем самым существенно повысить производительность таких установок.

Целью данной работы является параметрическое изучение процессов поглощения (сорбции) и дегазации (десорбции) гелия микросферами и сравнение результатов математического моделирования этих процессов с экспериментальными данными. Исследование проводится на примере воздушно-гелиевой смеси. На данном этапе выполнены эксперименты по исследованию процессов сорбции и десорбции гелия микросферами при различных значениях начального давления смеси. На основе мгновенной диффузии и нелинейного закона фильтрации газа сквозь стенку частицы получены математические модели процесса. Проведено сравнение данных эксперимента и результатов математического моделирования, степенной закон фильтрации показал наилучшее совпадение с результатами эксперимента в случае показателя степени больше 1 и качественное совпадение при показателе степени равным 1.

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ СКОЛЬЗЯЩЕГО КРЫЛА ПРИ $M = 4$

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

Исследования пространственных пограничных слоев в последнее время особенно актуальны для развития авиационной техники. Практическое применение напрямую связано с тем, что такие пограничные слои реализуются, в частности, на крыле самолета. Экспериментальные исследования устойчивости сверхзвукового пограничного слоя проводились в ИТПМ на протяжении 15 лет. Получены данные по развитию естественных и контролируемых возмущений на различных моделях, но все исследования проводились на $M=2$ [1, 2].

Эксперименты выполнялись в сверхзвуковой аэродинамической трубе Т-325 ИТПМ СО РАН при числе Маха $M=4$ и $Re_1=10.5 \times 10^6 \text{ м}^{-1}$. В экспериментах использовались симметричная модель крыла с чечевицеобразным профилем и углом скольжения кромок $\chi=45^\circ$. Кромки модели имели различные радиусы притупления ~ 0.1 и 1 мм соответственно. Эксперименты проводили при двух установках крыла, что соответствовало острой или затупленной передней кромке. Возмущения в потоке регистрировались термоанемометром постоянного сопротивления. Измерения пульсационных и средних характеристик потока проводились автоматизированной системой сбора данных.

В работе были измерены положения ламинарно-турбулентного перехода для случая острой и затупленной модели крыла. Получено, что переход на затупленной модели наступает раньше. Проведено исследование развития естественных возмущений: измерены амплитудно-частотные спектры, профили пульсаций массового расхода. Получено, что профиль пульсаций также как и при $M=2$ имеет два максимума: один соответствует критическому слою, второй находится вблизи поверхности модели. Следует отметить, что возмущения соответствующие второму максимуму нарастают значительно быстрее, и вблизи точки перехода даже превосходят пульсации в критическом слое.

1. Семёнов Н.В., Косинов А.Д., Левченко В.Я., Ермолаев Ю.Г. Теплофизика и аэромеханика. - 2003. Т.10, №3. С. 357-368.

2. Семёнов Н.В., Ермолаев Ю.Г., Косинов А.Д. //ПМТФ. - 2008. Т.49, №2. С. 40-46

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

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФРОНТА ПОЖАРА

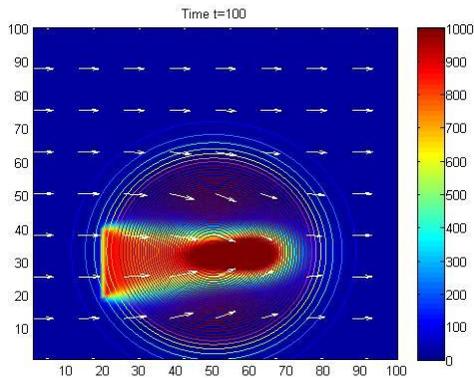
А. В. Кириенко

Московский физико-технический институт

Проблема лесных пожаров является очень актуальной для России. В РФ лесной фонд занимает примерно 70% всех земель. В борьбе с пожарами важную роль играет их раннее обнаружение и прогнозирование распространения. Одним из способов позволяющих решить эту задачу в настоящее время стало математическое моделирование и широкое внедрение информационных технологий.

Работа посвящена моделированию процесса распространения фронта пожара. За основу модели взято уравнение конвекции-диффузии, которое широко применяется для моделирования распространения фронта пожара в гетерогенных средах. Уравнение конвекции-диффузии - параболическое уравнение в частных производных, которое описывает физические явления, где частицы или энергия (или другие физ. величины) передаются внутри системы за счет 2х процессов: диффузии и конвекции.

На основании этой модели написана программа, позволяющая рассчитывать распространение фронта пожара с учетом различных факторов: форма исходного фронта, рельеф местности, скорость и направление ветра.



Результаты расчета температурного поля (на рисунке отражено цветом) при наличии на пути распространения плоского фронта препятствия в виде возвышенности

Научный руководитель – Ю. В. Подрезов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗРЫВНОГО ВСКИПАНИЯ СЛОЯ ЖИДКОСТИ НА МИКРОНАГРЕВАТЕЛЕ

И. А. Козулин, А. С. Буткеев
Новосибирский государственный университет
Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

Взрывное вскипание жидкости под действием тепловых и лазерных импульсов представляет интерес для различных практических приложений и технологий [1]. В термодинамически экстремальном состоянии оно возникает вблизи спинодали. Зародышеобразование на флуктуационных центрах определяет кинетический предел допустимого перегрева жидкости в метастабильном состоянии [2]. Ранее были получены данные по взрывному вскипанию на проволочках [3] и плоских микронагревателях [4].

В работе проводится экспериментальное изучение взрывного вскипания слоев воды и изопропилового спирта в области глубокой метастабильности на прямоугольном микронагревателе при плотности теплового потока больше 200 мВт/м^2 . Сверхвысокие плотности теплового потока обеспечили высокие скорости роста температуры жидкости на поверхности нагревателя и переход к фазовому взрыву при скоростях роста температуры выше МК/с. Определен механизм зарождения и развития пузырькового распада тонких слоев метастабильных веществ. Развита оптическая методика регистрации зародышеобразования, вскипания и динамики образующейся паровой полости. Исследовано вскипание слоя жидкости различной толщины при импульсном нагреве в неоднородном поле температур на поверхности микронагревателя, покрытого субмикронным карбидокремниевым слоем. Получены данные по динамике заполнения поверхности нагревателя паровой фазой, времени жизни основного парового пузыря и пузыря-сателлита, зависимости температуры вскипания от скорости роста температуры нагревателя.

Работа выполнена в рамках интеграционного проекта №54 СО РАН

-
1. R. R. Allen, J. D. Meyer, W. R. Knight, *Thermodynamics and Hydrodynamics of Thermal Ink Jets*, Hewlett-Packard J. V. 36, p. 21-27 (1985).
 2. В. П. Скрипов, *Метастабильная жидкость*. М.: Наука, с. 312 (1972).
 3. П. А. Павлов, Е. Д. Никитин, *Кинетика зародышеобразования в перегретой воде*, Теплофизика высоких температур. Т.18. №2, с. 354-358. (1980).
 4. J. Hong, N. Ashgriz, *Experimental study of bubble dynamics on a micro heater induced by pulse heating*, J. Heat Transfer. V. 126, p. 259-271 (2004).

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ТОНКОМ СКОЛЬЗЯЩЕМ КРЫЛЕ

Г. Л. Колосов

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

Работа посвящена экспериментальному исследованию ламинарно-турбулентного перехода в трехмерном сверхзвуковом пограничном слое на тонком скользящем крыле. Интерес к этой теме вызван большим практическим применением, так, в частности, схожие пограничные слои возникают на крыльях самолетов при сверхзвуковых режимах полета. С другой стороны, проблема ламинарно-турбулентного перехода в трехмерном случае является очень сложной, т.к. помимо неустойчивостей, присущих безградиентному пограничному слою на плоской пластине, имеется неустойчивость вторичного течения, которая играет важную роль в процессе перехода к турбулентности на скользящем крыле [1].

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

Измерения проводились вдоль передней кромки модели при $x=20, 40, 50$ мм от разряда. По продольной координате измерения выполнялись при постоянном уровне среднего напряжения E . Экспериментально показано, что при хорошей герметизации разряда в пограничный слой вводились возмущения только на одной частоте 20 кГц. При увеличении мощности разряда возбуждения других гармоник не наблюдалось. В случае ддува через отверстие разряда происходило локальное искажение среднего течения, при этом разряд генерировал множество гармоник кратные 10 кГц.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 09-01-00767).

1. Семёнов Н.В., Ермолаев Ю.Г., Косинов А.Д., Левченко В.Я. Экспериментальное исследование развития возмущений в сверхзвуковом пограничном слое на модели скользящего крыла // Теплофизика и аэромеханика. – 2003. – Т.10. - № 3. – С.357-368.

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

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ ВОЛН В БЕЗУНОСНЫХ РЕЖИМАХ КОЛЬЦЕВОГО ГАЗОЖИДКОСТНОГО ТЕЧЕНИЯ

Д. В. Крей

Новосибирский государственный университет

Кольцевое течение представляет собой совместное течение пленки жидкости и высокоскоростного потока газа. В нем существуют безуносные и уносные режимы течения. Последние характеризуются наличием капель, уносимых с поверхности пленки жидкости в ядро газового потока. В уносных режимах принято разделение волн на поверхности пленки жидкости на два вида: волны возмущения и волны ряби. Первые – более крупные волны, с большей амплитудой и скоростью по сравнению с небольшими волнами ряби. В безуносных режимах до недавнего времени не было разделения волн на группы. Однако в работе [1] было продемонстрировано наличие двух типов волн в режимах без уноса.

Было показано, что волны, названные авторами «вторичными», генерируются на задних склонах волн другого типа, названных «первичными». Развиваясь, вторичные волны отстают от породивших их первичных волн и поглощаются следующей первичной волной.

Данная работа посвящена исследованию отклонений от описанного выше стандартного сценария поведения первичных и вторичных волн в режимах без уноса. Наиболее часто наблюдались такие явления, как распад и новообразование первичной волны. Распад представляет собой существенное уменьшение скорости и амплитуды первичной волны до значений, соответствующих параметрам вторичных волн, и последующее поглощение такой волны следующей первичной волной. Новообразование, напротив, заключается в ускорении и резком росте амплитуды вторичной волны до значений, соответствующих первичным волнам. Развившись, такая волна начинает испускать вторичные волны на своем заднем склоне и, таким образом, становится полноценной первичной волной, неотличимой от прочих первичных волн.

1. Alekseenko S. V., Antipin V. A., Cherdantsev A. V., Kharlamov S. M., Markovich D. M. Two-wave structure of liquid film and waves interrelation in annular gas-liquid flow with and without entrainment // *Physics of Fluids*, 2009. Vol. 21, 061701-061704.

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

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ХЛАДАГЕНТА R-407C В ПАРОВОЙ ФАЗЕ

Е. П. Куйбина

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

В настоящее время в качестве заменителей традиционных фреонов рассматриваются смесевые хладагенты на основе бесхлорных фреонов с низкими озоноразрушающим потенциалом и потенциалом глобального потепления. Хладагент R-407C является одним из наиболее перспективных заменителей широко используемого фреона R-22. Однако теплофизические свойства R-407C исследованы недостаточно подробно.

В работе представлены результаты измерений теплопроводности (λ) R-407C в паровой фазе в интервале температур 303...425 К и давлений 0,1...2,1 МПа, а также их обработки и статистического анализа. Эксперименты были выполнены стационарным методом коаксиальных цилиндров.

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

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

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

Отклонения экспериментальных данных от аппроксимирующей зависимости (1) не превышают 1 %, а среднеквадратичное отклонение составляет 0.3 %.

В пересекающихся интервалах параметров состояния полученные результаты согласуются с наиболее надежными литературными данными [1] в пределах суммарной погрешности измерений. Используя уравнение (1) рассчитаны справочные таблицы температурных и барических зависимостей теплопроводности хладагента R-407C, а также оценены их погрешности.

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

1. V. Z. Geller, B. V. Nemzer, U. V. Cheremnykh, Thermal Conductivity of the Refrigerant Mixtures R 404A, R 407 C, R 410A, and R 507C // Inter. J. Thermophysics. – 2001. – Vol. 22, No. 4. – P. 1035-1043.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВОГО ТЕЧЕНИЯ В МОДЕЛИ ОТСАСЫВАЮЩЕЙ ТРУБЫ ГИДРОТУРБИНЫ

И. В. Литвинов

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

Целью данной работы является экспериментальное исследование структуры течения в отсасывающей трубе гидротурбины. Основной упор делался на выявление особенностей течения, прежде всего, наличия интенсивных пульсаций и неравномерности потока. Исследования проводились с использованием замкнутого гидродинамического контура с максимальным расходом до 100-150 м³/час. На первом этапе исследования вихревого течения, возникающего в отсасывающей трубе гидротурбины, проводились с использованием рабочего участка, моделирующего геометрию “TURBINE-99”. Эта геометрия, которая повсеместно используется для тестирования численных моделей течения в отсасывающих трубах гидротурбин, хорошо адаптирована к оптическим методам исследования потока. В ходе опытов с использованием цифровой камеры и ЛДА были получены данные по визуализации потока и полям скоростей в различных сечениях отсасывающей трубы.

Как показывает анализ результатов, особенностью течения является выраженная неравномерность потока в горловине выхода из поворотного колена. Имеется интенсивный проток только в 1/3 сечения трубы. Положение области минимума примерно совпадает с центром крупномасштабного вихря, выявленного с помощью визуализации.

На основе визуализации течения и спектрального анализа сигнала ЛДА, можно заключить, что для исследованной геометрии отсасывающей трубы отсутствует явно выраженная крупномасштабная неустойчивость в виде прецессирующего вихревого ядра. Данный результат может быть интересным с точки зрения определения условий, способствующих подавлению крупномасштабной неустойчивости закрученного потока в отсасывающей трубе. Еще одной особенностью течения было наличие крупномасштабных вихрей в области выхода из конуса и на выходе из поворотного колена, что может способствовать дополнительной диссипации энергии.

Полученные экспериментальные результаты будут использоваться для оптимизации геометрии отсасывающей трубы с целью снижения потерь энергии потока и расширения диапазона устойчивой работы гидротурбин. Кроме того, измеренные данные необходимы для верификации численных расчетов параметров гидротурбин.

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ КИПЕНИИ ФРЕОНА-21 В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ПРИ СТУПЕНЧАТОМ ТЕПЛОЫДЕЛЕНИИ

М. И. Моисеев

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

Переходные процессы при кипении в условиях резко изменяющейся во времени тепловой нагрузки являются предметом интенсивного исследования в последнее время [1-2]. Интерес к ним обусловлен, с одной стороны, необходимостью обеспечения устойчивой и безопасной работы различных теплообменных систем при наличии интенсивных пульсаций теплового потока. С другой стороны, он связан с разработкой микроустройств, технологий обработки материалов и создания модифицированных поверхностей с заданными свойствами при интенсивных тепловых воздействиях. В ряде работ [2] наблюдается существенное влияние нанодобавок в жидкости на критические тепловые потоки и граничные температуры смены режимов кипения. При этом экспериментальные данные весьма противоречивы и неоднозначным образом зависят от типа жидкости, концентрации наночастиц и других факторов. Для выявления закономерностей и механизмов теплообмена и кризисных явлений в наножидкостях необходимы систематические исследования по кипению как в чистых жидкостях, так и в наножидкостях для обеспечения сравнительной базы.

В данной работе представлены результаты первого этапа проводимых экспериментов: исследование динамики развития кипения и формирования зон плёночного кипения при ступенчатом тепловыделении на горизонтальной цилиндрической поверхности в большом объёме чистого фреона-21. Получены опытные данные по времени ожидания и температуре вскипания, скорости распространения фронтов вскипания при различной плотности теплового потока. Показана взаимосвязь величины нестационарного критического теплового потока и температурного напора, соответствующего вскипанию жидкости.

1. В. Р. Avksentyuk, Third heat transfer crisis with stepwise heat supply, *Journal of App. Mech. and Tech. Phys.*, V42 P. 857-863 (2001)

2. Н. Kim, J. Buongiorno, L. Hu, T. McKrell and G. Dewitt, Experimental study on quenching of a small metal sphere in nanofluids, *Proc. Intern. Mechanical Eng. Congress, IMECE2008-67788: Boston, USA* (2008)

Научный руководитель – канд. техн. наук В. Е. Жуков.

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

П. А. Мотырев, М. М. Катасонов

Новосибирский государственный университет
Институт теоретической и прикладной механики СО РАН

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

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

В работе изучаются продольные структуры, полученные методом вдува/отсоса. Особое внимание уделяется изучению волновых пакетов – предвестников, возникающих в областях, предшествующих резкому изменению локальной скорости на фронтах продольного возмущения. Исследованы их характеристики, динамика развития, проанализировано влияние на них формы крыла (прямое и скользящее) и степени турбулентности набегающего потока.

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

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

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

ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ДЛЯ КЛАССА КОНИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ

Р. И. Мулляджанов

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

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

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

С помощью автомодельной подстановки полей скорости и магнитной индукции, из уравнений Навье – Стокса для МГД получаем систему нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений типа Лежандра на угловые функции.

В задаче существует три безразмерных критерия: число Рейнольдса, безразмерный ток в проводнике и число Бэтчелора (Re, J, Bt). Были получены решения задачи для разных Re, J , при $Bt = 1$. Наблюдалась бифуркация решения при увеличении J .

Для объяснения обнаруженной бифуркации, ставилась задача на устойчивость. Поле скорости и магнитной индукции были представлены в следующем виде $\vec{f} = \vec{f}_0 + \vec{f}_1 \exp(i\lambda t + im\varphi)$, где \vec{f}_0 - основное решение задачи, \vec{f}_1 - возмущение. Было замечено, что в поставленной задаче на возмущения для МГД существуют только неосесимметричные гармоники.

Была решена система на возмущения для задачи Ландау, т.е. в отсутствии поля, при $m = 0, 1, 2$. При $Re = 0$ был найден дискретный спектр λ_i , который оказался в полном согласии с теорией уравнений типа Лежандра. Был изучен спектр $\lambda_i(Re)$, который показал, что течение в задаче Ландау является устойчивым.

Также были получены некоторые результаты при изучении системы на возмущение для МГД задачи.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ ГЕЛИЯ В НАНОКАНАЛАХ

Д. С. Ожгибесов

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

В настоящей работе проведено молекулярно-динамическое исследование газодинамического потока гелия в наноканалах цилиндрической формы. Длина каналов варьировалась в интервале от 50 Å до 10 μ , а радиус – от 20 до 500 Å. Расчеты проведены как для случая истечения гелия в вакуум, так и для заданного перепада давлений на входных сечениях канала. Температура газа в расчетах равнялась 300 К.

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

В результате исследования показано, что поток, вытекающий из резервуара с большим давлением пропорционален разности давлений, а тангенс угла наклона нелинейно зависит от длины канала и от большего давления во входном сечении. Кроме того, для определенного интервала геометрических размеров канала и давлений на входных сечениях обнаружен эффект запираания канала. В этом случае вытекающие потоки из обоих сечений одинаковы и даются простым выражением, основанном на результатах молекулярно-кинетической теории.

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ТЕЧЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ ВОЛНОВОГО ПАКЕТА В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

А. В. Панина

Новосибирский государственный университет
Институт теоретической и прикладной механики СО РАН

Для решения задачи ламинаризации течения необходимо детально выяснить механизм перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный. До сих пор в исследованиях перехода двумерных сверхзвуковых пограничных слоев ограничивались изучением развития пульсаций без учета влияния возможных неоднородностей течения [1]. Поэтому, целью данной работы являлось экспериментальное исследование развития волнового пакета в пространственно модулированном сверхзвуковом пограничном слое на плоской пластине.

Представлены результаты экспериментального исследования поперечной неоднородности течения на развитие волнового пакета в пограничном слое плоской пластины при числе Маха $M = 2$. Поперечная модуляция среднего течения в пограничном слое создавалась с помощью наклеек из скотча толщиной 60 и 110 мкм. В экспериментах изучалось развитие контролируемых возмущений вниз по потоку. Определены волновые характеристики бегущих возмущений.

Получено, что характер развития волнового пакета существенно зависит от высоты шероховатостей, а также от их периода расположения. Показано, что пакет волн Толлмина-Шлихтинга на частоте $f = 20$ кГц качественно имеет одинаковый характер развития для гладкой и шероховатой поверхности. В тоже время, поперечная модуляция среднего течения приводит к возбуждению сильнонаклонных волн ($|\beta| > 1,7$ рад/мм) на этой частоте. Фазовые спектры указывают, что возбуждение этих волн происходит в центре волнового пакета. Обнаружено, что модуляция среднего течения может приводить к стабилизации развития нестационарных возмущений в сверхзвуковом пограничном слое на плоской пластине.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 09-01-00767).

1. Ю. Г. Ермолаев, А. Д. Косинов, Н. В. Семёнов. Характерные особенности слабо-нелинейного взаимодействия волн неустойчивости в сверхзвуковом пограничном слое// Вестник НГУ. Серия: Физика. 2008. Том 3, выпуск 3. С. 3-13

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАЗА С НАНОКЛАСТЕРАМИ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

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

Актуальность темы обусловлена бурным развитием нанотехнологий, в частности, проблемами изготовления и транспортировки нанопорошков. Характерные размеры наночастиц варьируются от 20 до 100 Å. Молекулярно-динамическое моделирование сейчас является единственным методом исследования явлений на наномасштабном уровне.

К настоящему моменту имеется очень мало работ, посвященных этой теме. Работы [1] и [2] посвящены экспериментальному изучению сил, действующих со стороны среды на наночастицу. Сила восстанавливалась из соотношения Эйнштейна. Его использование, равно как и приближение броуновских частиц необосновано – размеры нанокластеров слишком малы. В работе [3] сила определялась методом молекулярной динамики. Расчеты проведены для 3500 молекул. Отношение масс кластера и молекул варьировалось от 25 до 200. Простые оценки показывают: отличие масс модельных и реальных кластеров составляет более порядка, размеры не попадают в диапазон размеров реальных кластеров, а время взаимодействия сравнимо со временем флуктуаций.

В настоящей работе значительно расширены диапазоны масс и размеров. Время расчета и число молекул газа увеличено настолько, что средняя сила, действующая на кластер, выходит на асимптотическое значение (до 10^7 молекул). Взаимодействие атомов газа между собой описывается потенциалом Леннарда-Джонса, с кластером - упругое отражение. Начальные скорости атомов газа инициализируются методом Монте-Карло для распределения Максвелла, координаты – из условия равномерного распределения в пространстве. Макроскопические скорости учитываются добавлением вектора средней скорости газового потока к тепловым скоростям молекул.

В результате получены зависимости поведения средней силы от давления, температуры, скорости потока и линейного размера кластера.

-
1. Evans D. F., et al. // J. Chem. Phys. 1981. V. 74. N 2. P. 1299-1305.
 2. Haselmeyer R., et al. // Ber. Bunsenger Phys. Chem. 1994. V. 98. P. 878
 3. Рудяк В. Я. и др. // Письма в ЖТФ, 2008, том 34, вып.2, с.69-74.

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

ПРОБЛЕМА ИЗУЧЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В НЕГЛУБОКИХ ВОДОЕМАХ

Е. М. Плотникова, А. Ф. Кулешов

Московский физико-технический институт

Атлантическое отделение Института океанологии РАН, г. Калининград

Одна из актуальных проблем современной прибрежной океанологии - проблема исследования внутренних волн. Эти волны имеют гравитационную природу и формируются в области вертикально неоднородного профиля плотности морской воды – в области пикноклина, основную роль в формировании которого играет стратификация профилей температуры и солёности. Возмущение стратифицированной жидкости приводит к возникновению возвращающих массовых сил, в результате действия которых среда осциллирует. Значение внутренних волн довольно велико. Они оказывают существенное влияние на физические, химические и биологические процессы, происходящие в океанах и морях. Например, внутренние волны способствуют рассеянию звука, участвуют в размыве оснований портовых сооружений, представляют большую опасность для подводных лодок. Целью данной работы было измерить характеристики внутренних волн в Калининградском морском канале (глубина 12 м), сообщаемом с Вислинским заливом (эстуарная морская лагуна, глубиной до 5 м) и имеющим выход в Балтийское море. В отличие от большинства исследований в данной области особенность эксперимента состоит в том, что приспособление стратифицированной по плотности жидкости к действию силы тяжести исследуется в неглубоком прибрежном водоеме. Поскольку стратификация толщи воды в море, как правило, невелика, то внутренние волны характеризуются большими периодами - от нескольких минут до нескольких часов. В данном исследовании была поставлена задача обнаружить внутренние волны с помощью STD-зонда. Были проведены вертикальные зондирования на сетке станций, построен разрез плотности вдоль канала. По результатам этого разреза необходимо было в полевых условиях определить точки и глубины, на которых будет проводиться измерения временных серий – горизонты с максимальным градиентом $d\rho/dz$. Временная развертка колебательных процессов представляет собой сложную картину суперпозиции различных колебаний, шумов и случайных флуктуаций. В виду ее малой информативности были получены и проанализированы энергетические спектры колебаний. Таким образом, были исследованы особенности внутренних гравитационных волн в неглубоких водоемах на примере морского канала и обозначены перспективы для дальнейших исследований.

Научный руководитель - д-р физ.-мат. наук Б. В. Чубаренко.

ПРЯМОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СМЕШЕНИЯ ПАССИВНОГО СКАЛЯРА В ОГРАНИЧЕННОЙ СТЕНКАМИ ДВУМЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

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

Изучению турбулентности уже многие годы уделяется огромное внимание. Однако, и по сей день учёт твердых границ значительно усложняет как теоретическое, так и численное описание турбулентности. Пассивный скаляр рассматриваемый в задачи для описания среды есть величина, которая является переносимой потоком, не влияющие на него. К примерам пассивного скаляра можно отнести небольшие колебания температуры, загрязнения в атмосфере или примесей в термоядерной плазме. Широкий спектр масштабов участвующих в развитой турбулентности препятствует простому описанию турбулентного переноса пассивной примеси.

В данной работе разработан метод для прямого численного моделирования нежимаемой изотропной турбулентности для двумерного случая. Для расчета смешения пассивного скаляра азрешается система уравнений Навье-Стокса и дополнительное уравнение для переноса пассивного скаляра. В недавних работах [1] для моделирования твердых границ был предложен метод *penalization*. Данный метод разработан для расчета течения в пористых средах, но в пределе при коэффициенте пористости равным 0 мы можем рассматривать твердую границу.

1. Kai Schneider “Numerical simulation of the transient flow behaviour in chemical reactors using a penalisation method”, *Computers & Fluids* 34 (2005)

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

РАСПАД СТЕКАЮЩИХ ВОЛНОВЫХ ПЛЕНОК ЖИДКОСТИ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИИ

А. С. Пятков

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований по динамике вскипания и развития кризисных явлений в стекающих волновых пленках жидкого азота при высокоинтенсивных ступенчатых набросах теплового потока (температура поверхности нагревателя от 10^3 до 10^4 К/с). Исследования были проведены на экспериментальной установке, детальное описание которой приведено в [1]. Показано, что в исследованном диапазоне изменения степени орошения ($Re_{вх} = 200 \div 1300$) параметры, характеризующие распад пленочного течения (время ожидания вскипания, локальная скорость подвижных границ при распространении фронтов испарения и осушения), сложным образом зависят от числа Рейнольдса, волновых характеристик и плотности теплового потока. При ступенчатом тепловыделении распад пленки определяется динамическими характеристиками распространения самоподдерживающихся фронтов испарения и сложной формой структур, возникающих в процессе их развития. Показано, что структура развития самоподдерживающихся фронтов испарения, определяющая распад пленочного течения, существенно зависит от плотности теплового потока. Определены области влияния развития интенсивного испарения и конвективной составляющей теплообмена на время ожидания вскипания при изменении интенсивности тепловыделения для различных чисел Рейнольдса. Также в работе представлены данные по динамике вскипания и развития кризисных явлений при ступенчатом тепловыделении для стекающих пленок воды в условиях недогрева. Проведено сравнение динамики теплообмена для жидкого азота и воды, что показало влияние на процесс распада пленочного течения теплофизических свойств жидкостей и степени недогрева.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 09-08-00118), Интеграционного проекта СО РАН совместно с УрО РАН (№ 68).

1. Павленко А.Н., Суртаев А.С., Мацех А.М. Переходные процессы в стекающих пленках жидкости // ТВТ. 2007. Т. 45. № 6. С. 905–916.

Научный руководитель – чл.-корр. РАН А. Н. Павленко.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНОЙ ЗАТОПЛЕННОЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУИ В УЗКОМ КАНАЛЕ

Д. В. Сергачев

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

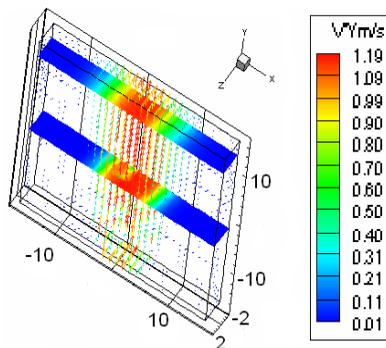
Многие течения, встречающиеся в природе и технике, можно описать как ограниченные квази-двумерные течения, например, течения в равнинных реках, озерах, подземных водах, в океане, атмосфере, течения пластовой нефти. Течения в узких зазорах так же, широко представлено в технических агрегатах: теплообменных устройствах, аппаратах химической промышленности, геотермальной энергетике, системах охлаждения электроники.

В данной работе исследовалась свободная затопленная турбулентная струя, распространяющаяся в узком канале. Канал формировался двумя параллельными пластинами размером 210x270 мм, между которыми устанавливалась вставка толщиной $h=4,2$ мм. Число Рейнольдса, построенное по двойной ширине канала $Re=2h*U_0/\nu$, равнялось 10000 и 20000. Измерения проводились с помощью современного бесконтактного метода исследования потоков Tomographic PIV (Томо-PIV).

Метод Томо-PIV имеет ряд достоинств и позволяет измерять мгновенные трехкомпонентные поля скоростей в объеме потока.

В результате экспериментального исследования течения струи в узком канале были получены мгновенные трёхмерные трёхкомпонентные распределения скорости и пульсаций скорости в объёме по всей глубине канала.

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



Мгновенное поле скоростей на выходе из сопла, $Re=10000$ (x, y, z , mm)

УПРАВЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ТЕЛ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ С ПОМОЩЬЮ СЕТЧАТЫХ ЭКРАНОВ

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

Выполнено экспериментальное параметрическое исследование влияния сетчатых плоских экранов, расположенных перед торцом цилиндра, на величину аэродинамического сопротивления интегрированной модели.

Эксперименты выполнены в сверхзвуковой аэродинамической трубе при числе Маха $M_\infty = 5$ в диапазоне единичных чисел Рейнольдса $Re_{1\infty} = (1 \div 20) \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$. Измерялись сила сопротивления модели в потоке, распределение давления P_0' и статического давления за экраном, а также проводилась шпирен-визуализация обтекания.

Были получены зависимости силы сопротивления модели от расстояния между экраном и торцом цилиндра при различной геометрии сеток экрана и вариации единичного числа Рейнольдса. Достигнуто значительное (до 45%) снижение сопротивления модели. Результаты измерений для небольшого числа экранов и фиксированного числа Рейнольдса приведены в [1]. Показано, что основной причиной снижения сопротивления является возникновение отрывной области перед торцом цилиндра при натекании на цилиндр неоднородного потока [2], что соответствует обтеканию эффективного заостренного тела. Неоднородность потока возникает вследствие формирования за экраном недорасширенной струи при объединении элементарных газовых струек от каждой ячейки сетки. Показано, что максимальный эффект снижения сопротивления достигается в момент исчезновения головного скачка уплотнения перед экраном, когда локальные скачки уплотнения присоединены к отдельным проволокам сетки экрана.

Работа выполнена при финансовой поддержке АБЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» грант 2.1.1/3963.

1. Fomin V.M., Mironov S.G., Serdyuk K.M. Reducing the drag of bodies in supersonic flows using porous materials // Tech. Phys. Lett. 2009. Vol. 35, No. 2. P. 117-119.

2. Guvernyuk S.V., Savinov K.G. Separated isobaric structures in supersonic flows with localized nonuniformity // Dokl. Akad. Nauk. 2007. Vol. 413, No. 2. P. 188-192.

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

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛИЗОВАННОГО ЭНЕРГОПОДВОДА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЧЕНИЕМ В СВЕРХЗВУКОВОМ ВОЗДУХОЗАБОРНИКЕ

И. А. Соколов

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

Одной из актуальных проблем современной аэротермодинамики является создание двигателя, способного обеспечить летательный аппарат необходимой тягой на сверх- и гиперзвуковых режимах полёта. В настоящее время считается, что наиболее перспективным для данной задачи является прямоточный воздушно-реактивный двигатель. Одним из проблемных элементов такого двигателя является его воздухозаборник. Основные трудности при расчёте воздухозаборника связаны с взаимодействием ударных волн с турбулентным пограничным слоем, приводящее к его отрыву от поверхности. Появление отрыва негативно сказывается на тяговых характеристиках двигателя.

Существенным недостатком нерегулируемых сверхзвуковых воздухозаборников является однорежимность. Другими словами, для конкретного числа Маха и угла атаки существует единственная геометрическая конфигурация эффективно воздухозаборника. Связано это с зависимостью расположения скачков уплотнения от параметров набегающего потока. Одним из возможных решений этой проблемы является помещение локализованного источника тепла перед передней кромкой обечайки воздухозаборника. Такой источник будет создавать тепловой след, взаимодействуя с которым, ударные волны отражаются и меняют картину течения. Таким образом, можно добиться улучшения характеристик на нерасчётных режимах работы двигателя.

Настоящая работа направлена на изучение влияния отрывных эффектов на работу воздухозаборника и исследование возможности управления такими течениями с помощью локализованного энергоподвода. Расчёты выполнены с помощью пакета Ansys Fluent. Все геометрические размеры воздухозаборника и параметры потока взяты из работы [1].

1. M. Krause and J. Ballmann, Numerical investigations of hypersonic intake flows, RWTH Aachen University, Springer Berlin Heidelberg, High Performance Computing in Science and Engineering '07, pp. 471-486.

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

ЗАРОЖДЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ПЕРЕДНЕЙ КРОМКЕ СКОЛЬЗЯЩЕГО КРЫЛА

С. Н. Толкачев

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

Проблема снижения сопротивления воздуха летательных аппаратов сделала актуальной проблему ламинарно-турбулентного перехода. На большинстве современных самолетах используются скользящие крылья. В отличие от прямого крыла на скользящем формируется пограничный слой, имеющий трехмерную структуру, а потому и процесс ламинарно-турбулентного перехода имеет более сложный характер. В условиях благоприятного градиента давления на передней кромке скользящего крыла в пограничном слое возникает неустойчивость поперечного течения (Cross-flow), которая проявляется в виде продольных вихрей. Далее на них возникают вторичные высокочастотные возмущения, приводящие к ламинарно-турбулентному переходу.

Эксперимент проводился в малотурбулентной аэродинамической трубе Т-324 ИТПМ с рабочей частью длиной 4000 мм. и поперечным сечением 1000×1000 мм. на модели скользящего крыла, имеющей цилиндрическую переднюю кромку и угол скольжения 45^0 , а также отверстие, через которое вводились возмущения. Угол атаки задавался близким к нулю таким образом, чтобы возмущение в процессе развития смещалось на верхнюю плоскость. В проведенных экспериментах возмущения вводились методом порционного вдува, задаваемого электромагнитным клапаном, управляемым с компьютера. Для предотвращения отрыва потока на участках максимального утолщения крыла были использованы турбулизаторы. Положение термоанемометра задавалось автоматическим координатным устройством. Скорость потока составляла 4.9 м/с.

В результате анализа полученных данных было установлено, что в области благоприятного градиента давления амплитуда возмущений, смещающихся на верхнюю плоскость, нарастает при движении вдоль линии распространения возмущения, что характерно для неустойчивости поперечного течения.

На картине распределения средней скорости имеется двойной пик, что говорит о ярко выраженной вихревой природе возмущений.

Были исследованы переходные процессы, связанные с образованием и развитием вниз по потоку переднего и заднего фронтов возмущений. В окрестности фронтов наблюдались волновые пакеты.

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

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАГРЕВА И ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЁНОК В СХЕМЕ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОГО ПЕРЕНОСА

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 (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 фемтосекундными лазерными импульсами перенос вещества на подложку происходит существенно различным образом (в виде нанокристаллитов в расплаве для золота, в виде нанодисперсных жидких капель для цинка и в виде единой микроразмерной капли для хрома). В данной работе на основе двухтемпературной модели [3, 4] с учетом упругих волн давления [5] выполнено численное моделирование лазерно-индуцированного нагрева и плавления металлических пленок (Au, Zn, Cr) для экспериментальных условий LIFT, исследованных в работе [2]. Выявлены причины, по которым у материалов одного семейства перенос происходит существенно различным образом. Найдены значительные различия в формировании и динамике волн давления в трех изучаемых металлах. Проанализировано влияние упругих волн, формируемых, в частности, давлением электронов, на динамику нагрева материала. Для изучения стадии переноса вещества разрабатывается модель на основе метода молекулярной динамики.

1. Piqué A., Kim H., Arnold C.B., in: Laser Ablation and its Application, Springer (2007).

2. Klini A., Loukakos P. A., Gray D., et al., Optics Express 16, 11300 (2008).

3. Анисимов С. И., Капелиович Б. Л., Перельман Т. Л., ЖЭТФ, 66, 776 (1974).

4. Bulgakova N. M., Bourakov I. M., Appl. Surf. Sci., 197-198, 41 (2002).

5. Chen J. K., Beraun J. E., Tham C. L., Int. J. Engineer. Sci., 42, 793 (2004).

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

БИОЛОГИЧЕСКАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С КРАСНЫМИ КРОВЯНЫМИ КЛЕТКАМИ

Д. А. Безбабный, О. М. Зиновьева

Амурская областная детская клиническая больница
Амурский государственный университет, г. Благовещенск

В настоящее время в самых различных областях медицины успешно используется действие НИЛИ (низкоинтенсивного лазерного излучения). Универсальность биологического действия и метода лазерного облучения крови обусловлена влиянием на низший (субклеточный и клеточный) уровень регулирования и поддержания динамического равновесия организма. При возникающих нарушениях этих механизмов, являющихся истинной причиной многих заболеваний, воздействие лазера корректирует и стратегию адаптации более высокого уровня организации живого.

К настоящему времени эффект лазерной биостимуляции кровеносной системы посредством ВЛОК (внутривенозного лазерного облучения крови) твердо установлен и нашел широкое практическое применение, хотя механизм его действия остается неясным. Поэтому актуальными являются результаты различных исследований механизма действия этого излучения, что позволит ответить на некоторые вопросы о его применимости для конкретного круга заболеваний и определить в дальнейшем тактику лечения.

При проведении экспериментов, в данной работе учитываются многие факторы, связанные как со свойствами крови, так и с характеристиками используемых приборов. Для исследования происходящих изменений геометрических параметров, проводится анализ изображений мазков крови на предметном стекле способом лазерной дифрактометрии и микроскопии. Определение вязкости крови выполняется по методу Панченкова.

В работе рассматриваются особенности взаимодействия лазерного излучения с клетками крови. По результатам экспериментов определяются изменения периметра, площади, длины, ширины и диаметра эритроцитов в зависимости от различного времени воздействия лазера, а также изменения скорости оседания эритроцитов и некоторые биохимические показатели крови.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. Ю. Сетейкин.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ФОТОСИСТЕМЫ ДЛЯ НЕМИДРИАТИЧЕСКОЙ РЕТИНАЛЬНОЙ КАМЕРЫ МОДЕЛИ TRC-NW6 «TOPCON»

Д. А. Безбабный, П. И. Кушнарев
Амурская областная детская клиническая больница
Амурский государственный университет

На сегодняшний день многие сталкиваются с такими задачами как оцифровка изображений, музыки, фильмов, видеокассет и киноплёнки, книг и т. д.

Перевод изображений с фотоплёнки или слайдов в цифровой вид даёт много дополнительных преимуществ. С использованием компьютерных технологий не только обеспечивается прямой доступ к любому фото- или видеофрагменту (что невозможно при работе с плёнкой, поскольку к необходимым участкам можно добраться, лишь последовательно просматривая видеоматериал), но и предполагает широкие возможности обработки изображения в графических редакторах. Также оцифровка позволяет сохранить качество снимков, распечатать снимки на фотопринтере или в фотолaborатории и т. д.

Как показывает практика, качество снимков на плёнках со временем ухудшается, пропадают цвета, ломается плёнка. Ускорить процесс старения также могут неправильные условия хранения проявленной плёнки. Таким образом, благодаря всем вышеперечисленным преимуществам цифровых изображений они становятся наиболее предпочтительными чем плёночные, а следовательно с каждым днём будет всё труднее найти плёнку для фотоаппаратов, видеокамер и т. д.

Решение подобной проблемы и является целью данной работы. Необходимо было модернизировать медицинский прибор, позволяющий делать фотографии глазного дна, таким образом, чтобы получать не фотографии, а цифровые снимки.

Чтобы добиться необходимого результата, в данной работе учитываются многие факторы, связанные как с конструкцией самого прибора, так и со строением глаз пациента. Получаемая оптическая схема позволяет не только усовершенствовать медицинский прибор, но и сокращать время обследования и затраты на эксплуатацию прибора. В работе описываются недостатки старой системы фотосъёмки и превосходства новой. Преимуществом метода является то, что для съёмки не используется вспышка прибора в таком ярком режиме, что значительно уменьшает болевые ощущения пациента.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. Ю. Сетейкин.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ГЛИКОЛИТИЧЕСКИХ ВОЛН В ОТКРЫТОМ РЕАКТОРЕ

Д. В. Вервейко, А. Ю. Верисокин
Курский государственный университет
Institute of Physics, Humboldt-University at Berlin

Объект исследования данной работы – реакция гликолиза в открытом цилиндрическом реакторе с постоянным притоком субстрата (АТФ) и необратимым оттоком продукта (АДФ) [1]. Трёхмерная математическая модель основана на уравнениях Селькова [2], усовершенствованных таким образом, что вток субстрата x и отток продукта y вынесены в граничные условия на дне реактора $\partial_z x = v(r)$, $\partial_z y = -uy$; на остальных гранях используются условия непроницаемости. Внутри реактора имеют место следующие процессы: свободная диффузия с равными коэффициентами D_1 и D_2 и необратимая реакция, описываемая членом $\pm xy^2$. Система уравнений в частных производных:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = D_1 \nabla^2 x - xy^2; \quad \frac{\partial y}{\partial t} = D_2 \nabla^2 y + xy^2. \quad (1)$$

Начальные значения берутся в виде равномерного распределения.

Для численного решения системы (1) использовалась программная среда FlexPDE. В условиях неоднородного втока, смоделированного осесимметричным параболомидом $v = v_0 + v_1 - v_0 r^2$, возникают бегущие волны с направлением распространения, определяемым знаком разности $v_0 - v_1$. На основе данных, полученных в FlexPDE, с помощью системы визуализации VisIt было построено трёхмерное графическое изображение динамики смоделированного процесса. Проанализирована зависимость между параметрами втока, оттока и высоты реактора, при которых образуются устойчивые во времени гликолитические волны, и найдены кривые бифуркации. Исследована динамика процесса при отклонении концентрации реагентов от стационарной кривой.

1. A. I. Lavrova, S. Bagyan, T. Mair, M. J. B. Hauser, L. Shimansky-Geier, Modeling of glycolytic wave propagation in an open spatial reactor with inhomogeneous substrate influx, *BioSystems* 97 (2009) 127-133.

2. E. E. Sel'kov, Self-oscillations in glycolysis, a simple kinetic model, *EurJ.Biochem.*4 (1968), pp.79–86.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук, доцент Е. Б. Постников, канд. биол. наук А. И. Лаврова.

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЛЮЦИФЕРАЗЫ МЕТОДОМ РАЗЛОЖЕНИЯ СПЕКТРА ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ПРИ ВВЕДЕНИИ 4I-ФЛУОРЕСЦЕИНА

Г. С. Гагаркина

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Бактериальная люцифераза из *Photobacterium leiognathi* представляет собой $\alpha\beta$ -гетеродимер, состоящий из 679 аминокислот, из которых семь триптофанов, 28 тирозинов и 36 фенилаланинов [1]. Вследствие этого спектры поглощения и флуоресценции фермента являются сложными. При изучении структуры белков, содержащих более одного аминокислотного остатка, селективное тушение флуоресценции позволяет выделить внешние и внутренние остатки. В работе была исследована структура бактериальной люциферазы путем разложения спектров флуоресценции белка на компоненты, различающиеся доступностью малым молекулам отрицательно заряженного тушителя – 4I-флуоресцеина.

Экспериментальный спектр флуоресценции люциферазы был разложен на логнормальные компоненты, отнесенные к трем классам триптофанов S, I и III с максимумами на 310, 330 и 353 нм соответственно [2]. Анализ формы контура флуоресценции белка при изменении длины волны возбуждения показал, что фенилаланины и тирозины вклада в спектр излучения не вносят. В общем контуре флуоресценции спектральной формы S соответствует один триптофан, а формам I и III – по три триптофана. С ростом концентрации 4I-флуоресцеина наблюдается увеличение эффективности тушения интенсивности флуоресценции триптофановых остатков I и III спектральных форм, при этом форма S не подвергается воздействию. Разложение спектров люциферазы позволило построить графики Штерна–Фольмера при добавлении 4I-флуоресцеина. Для спектральных форм триптофанов I и III обнаружено, что зависимости Штерна–Фольмера не являются линейными и загибаются к оси x , что характерно для белка с двумя типами флуорофоров, один из которых не доступен внешнему тушителю. Найдено, что четыре из семи триптофанов в структуре люциферазы доступны для отрицательно заряженного тушителя, а три триптофана локализованы внутри белковой глобулы.

1. Б. А. Илларионов, М. В. Протопопова В. А. Каргинов и др., Нуклеотидная последовательность генов α - и β -субъединиц люциферазы *Photobacterium leiognathi*, Биоорганическая химия 14, 412 (1988).

2. Е. А. Пермяков, Метод собственной люминесценции белка, М.: Наука, 2003.

Научный руководитель – М. А. Герасимова.
ВЛИЯНИЕ НАНОКРИСТАЛЛОВ НА СТРУКТУРУ БИОМЕМБРАН

Н.С. Доронин
Институт биохимии СО РАН
Новосибирский государственный университет

В последние десятилетия появились и широко используются молекулярные соединения, синтезированные человеком, линейным размером не превышающие 100 нм (наноструктуры). На данный момент в силу своей повсеместной распространенности попадание нанокристаллов внутрь человеческого организма неизбежно. При этом механизм побочного воздействия нанокристаллов на организм до сих пор не исследовался. В работе изучается изменение структуры мембраны эритроцита под действием нанокристаллов (SiO_2 , Al_2O_3).

Характер изменения морфологии поверхности биомембраны под воздействием нанокристаллов исследуется с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ). Измерение микровязкости флуоресцентным методом с помощью зонда пирен дает представление о конформационных изменениях биомембраны.

К настоящему моменту удалось довольно четко сопоставить результаты АСМ и измерений микровязкости для нанокристаллов. При добавлении нанокристаллов кварца во взвесь эритроцитов микровязкость мембран уменьшается. Методом АСМ зафиксировано появление пор в мембране эритроцитов. Предполагаем, что нанокристаллы SiO_2 (характерный размер $d=15$ нм) внедряются в бислою, а затем покидают его, образуя поры. Происходит разрушение мембраны и гемолиз эритроцитов. При добавлении во взвесь эритроцитов нанокристаллов Al_2O_3 ($d=35$ нм) микровязкость мембраны не изменяется. Методами АСМ установлено, что нанокристаллы не проникают внутрь липидного бислоя мембраны, а абсорбируются на поверхности. Таким образом, образование пор из-за внедрения гидрофобных нанокристаллов в липидный бислою может происходить лишь в том случае, если характерные размеры этих объектов не превышают некоторого критического значения.

Все эти факты позволяют утверждать, что воздействие нанокристаллов может значительно ускорить процесс старения эритроцитов, нарушить их транспортные функции. Все эти процессы могут привести к различным сердечно-сосудистым заболеваниям у человека уже в молодом возрасте.

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук П. В. Мокрушников.

РАЗРАБОТКА ПОРТАТИВНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОГО ПОВЕДЕНИЯ

И. Г. Дранов

Институт физиологии СО РАМН
Новосибирский государственный университет

До недавнего времени возможности для записи электроэнцефалограммы (ЭЭГ) с лабораторных животных, особенно мелких, таких как мыши и крысы, были ограничены. ЭЭГ записывалась либо с наркотизированных животных, либо с животных, «подключенных» через кабель к усилителю биопотенциалов. Последний способ позволяет сравнивать ЭЭГ, записанные при разных функциональных состояниях животного, например, во время сна и бодрствования. Тем не менее, наличие кабеля очевидным образом ограничивает поведение животных и, кроме того, является мощным стрессирующим фактором, вносящим искажения в получаемые результаты. На текущий момент развитие полупроводниковой техники даёт возможности для создания портативного регистратора физиологических параметров, которые возможно разместить непосредственно на самом животном не стесняя его подвижность.

Целью работы явилось создание устройства способного регистрировать ЭЭГ животного в условиях свободного поведения и передавать данные по радиочастотному каналу на компьютер в режиме реального времени. К устройству предъявлялись следующие требования: регистрация физиологических параметров не менее чем с 6 каналов; разрядность АЦП не менее 10 бит по каждому каналу; частота дискретизации не менее 256 Гц по каждому каналу; низкая потребляемая мощность. Помимо этого были желательны возможность замены типов датчиков (температурные, ЭЭГ, ЭКГ, и др.) и изменения программы микроконтроллера. Устройство с вышеописанными свойствами может применяться для широкого спектра экспериментов. В частности, становится возможной регистрация ЭЭГ при проведении разнообразных поведенческих тестов, тестов связанных с социальными взаимодействиями животных, сопоставление изменений поведения и ЭЭГ при введении различных фармацевтических препаратов.

К настоящему моменту создан 8-канальный регистратор, программа сбора и анализа данных, проведена запись ЭЭГ мышей, дорабатывается передача данных по радиоканалу.

Научный руководитель – канд. биол. наук Е. А. Левин.

РАЗРАБОТКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ

К. С. Калугин

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Использование полупроводников в освещении – это одно из перспективных направлений. Преимуществ полупроводников перед лампами накаливания множество: это низкое энергопотребление, что позволяет намного снизить риск поражения электрическим током; это малые габаритные размеры; это более высокий срок службы и т.д. Основным недостатком на сегодняшний день является более высокая стоимость полупроводниковых осветительных устройств по сравнению с обычными лампами накаливания.

Использование осветительных приборов в нашей жизни стало вещью обыденной. Они используются дома, на работе, на улице, а также в медицине.

При помощи ультрафиолета обеззараживают помещения и продукты питания. Видимый свет способен благотворно влиять на физическое и психологическое состояние человека.

Уже сейчас разработаны приборы, использующие свет для лечения значительного рода заболеваний, такие как: «Геска 1», «Геска 2», «Виза», «Аист» и т.д.[1]

Совсем недавно было доказано, что при помощи света происходит синхронизация биологических часов человека. В 2002 г. Дэвид Берсон, ученый университета Браун в США обнаружил третий рецептор на сетчатке глаза. Этот третий рецептор не передает визуальной информации, а фокусируется только на передаче световых импульсов через биологическую связь. Нервная связь проходит через гипофиз, который влияет на выделение гормонов стресса в коре надпочечника и гормонов сна в шишковидной железе[2].

Подобное открытие дает возможность создания прибора для правильной синхронизации биологических часов при помощи света. В докладе осуждаются результаты для формирования комфортной среды человека.

1. А. А. Вилисов. Светодиодные аппараты для биологии и медицины. «Электронная промышленность» 1998, №1-2, с 19-25.

2. Интернет статья: «Свет и здоровье – Научное исследование» www.fagerhult.ru/planering/planering/studie.doc.

Научный руководитель – д-р. техн. наук А. А. Вилисов.

ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУЗ-МРТ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ МИОМЫ МАТКИ

А. В. Кириллова

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»

Согласно данным медицинской статистики около 80% всех операций в гинекологии проводится в связи с диагнозом миомы матки. 90% из этих операций - удаление матки [1]. Известно, что после удаления матки возрастает риск рака молочной и щитовидной желез. После удаления матки происходит нарушение кровоснабжения яичников. Учитывая, что миома матки стремительно «молодеет», и обнаруживается даже у не рожавших женщин до 30 лет, вопрос разработки и внедрения в практику медицины новых щадящих органосохраняющих методов лечения вызывает особый интерес.

Современное развитие высоких технологий привело к появлению в 2000 году революционной инновации для хирургии, гинекологии и онкологии, когда в клиническую практику был внедрен первый неинвазивный метод удаления опухолей - абляция фокусированным ультразвуком под контролем магнитно-резонансной томографии (ФУЗ-МРТ).

Система ФУЗ-МРТ обеспечивает воздействие энергии фокусированного ультразвука, который дистанционно коагулирует выбранные участки специфических тканей внутри организма под контролем МРТ. В течение 12-20 секунд луч ФУЗ нагревает находящуюся в зоне фокуса ткань до температуры 65° - 85°С и вызывает её термический некроз, не затрагивая окружающие ткани. [2]. Таким образом, полностью неинвазивно осуществляется селективное разрушение опухолевых клеток в пределах четко отграниченного фокусного объема. Особенно, этот метод показал себя применительно к миомам матки. Данное лечение значительно сокращает период выздоровления – полное восстановление здоровья за 1-3 дня, что делает технологию ФУЗ-МРТ современной альтернативой операциям по хирургическому удалению опухолей и органов.

1. Тихомиров А. Л., Лубнин Д. М. Миома матки. – МИА, 2005. – 173 с.

2. Степанов А. В., Лазуткина В. Ю., Гринберг М. З. Процедура фокусированной ультразвуковой (ФУЗ) абляции миом матки под контролем МРТ: техника выполнения// Публикации./ ФГУ «Лечебно-реабилитационный Центр Росздрава». – Москва. – С. 2-3.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Н. Ф. Терещенко.

О НЕКОТОРЫХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СВОЙСТВАХ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЕМКОСТИ ГЕНОМОВ

А. А. Коваль, В. М. Луговой
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Изучение статистических свойств нуклеотидных последовательностей является одной из фундаментальных проблем современной биофизики и биоинформатики. В настоящей работе описаны некоторые экстремальные свойства информационной емкости геномов.

Рассматривались связанные символьные последовательности длины N из четырехбуквенного алфавита $\{A, T, G, C\}$. Совокупность всех слов, встречающихся в изучаемой последовательности, называется её носителем. Сопоставим каждому элементу ω носителя (слову) число его копий; такая конструкция является конечным словарем. Заменяя число копий частотой f_ω , получим частотный словарь. Для каждого частотного словаря можно построить восстановленный частотный словарь, содержащий ожидаемые частоты \tilde{f}_ω . Такие ожидаемые частоты соответствуют принципу максимума энтропии восстановленного частотного словаря. Отношение реальной и ожидаемой частот одного и того же слова называется его информационной емкостью.

Исследовалось поведение информационной емкости частотных словарей некоторых реальных последовательностей и соответствующих им суррогатных. Информационной емкостью частотного словаря $W(q)$ называется условная энтропия, вычисленная относительно восстановленного частотного словаря $\tilde{W}(q)$

$$\bar{S}_q = 2S_{q-1} - S_q - S_{q-2} \quad \bar{S}_2 = 2S_1 - S_2$$

Здесь \bar{S}_q — условная энтропия частотного словаря толщины q , а S_q — абсолютная энтропия частотного словаря. Информационная ёмкость определялась (для $2 \leq q \leq 20$) для реальной последовательности; затем строились суррогатные, в которых изменялись частоты синонимических кодонов в кодирующих частях хромосомы, а некодирующие части оставались неизменными. Для таких суррогатных последовательностей также определялась информационная ёмкость. Показано, что реальные последовательности обладают большей информационной ёмкостью по сравнению с суррогатными.

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

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ $ZrO_2(MgO, CaO) - Al_2O_3$

А. В. Козлова

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск
Томский государственный университет

Пористые керамики представляют интерес в области медицинского протезирования для создания биосовместимых имплантатов костной ткани. Однако увеличение объема порового пространства способствует катастрофическому снижению прочностных характеристик. Решением данной проблемы может быть использование нанокристаллических порошков в качестве исходных материалов и получение композиционных материалов.

Цель данной работы – исследование структуры и свойств материалов из нанокристаллического порошка Al_2O_3 и твердых растворов $ZrO_2(MgO, CaO)$.

В качестве исходных материалов в работе использовались смеси порошков Al_2O_3 и ZrO_2 . Порошки ZrO_2 представляли собой твердые растворы составов: 97 % $ZrO_2 + 1$ % $MgO + 2$ % CaO , и 97 % $ZrO_2 + 2$ % $MgO + 1$ % CaO (массовые проценты). Объемная доля Al_2O_3 в порошковых смесях составляла 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 %.

Показано, что все полученные композиты имеют развитую пористость. Исследования структуры полученных образцов составов ($Al_2O_3 + ZrO_2(1$ % $MgO, 2$ % $CaO)$) и ($Al_2O_3 ZrO_2(2$ % $MgO, 1$ % $CaO)$) показали, что поровая структура керамики представлена сообщающимися между собой эквипризматическими порами (пустотами, незаполненными частицами порошка) и порами, наследуемыми от сферических частиц порошка оксида алюминия. Структура керамики всех составов характеризовалась бимодальным распределением пор по размеру. Первый максимум соответствовал межчастичным порам, средний размер которых составил 2-5 мкм, второй максимум был образован изолированными сферическими частицами и сообщающимися поровыми каналами.

Увеличение количества оксида алюминия в исходных порошковых смесях до 4 0% сопровождалось увеличением предела прочности полученных композитов $ZrO_2 - Al_2O_3$ независимо от состава твердых растворов $ZrO_2(MgO, CaO)$. С дальнейшим ростом количества оксида алюминия в составе образцов происходит резкий спад прочностных характеристик. Данный факт реализуется за счет увеличения доли полых сферических частиц оксида алюминия в составе образцов.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. С. П. Бужкова.

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ЛИЗОСОМАЛЬНОЙ АКТИВАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ЛИЗОСЕНСОРА DND-167 ПРИ ИНФИЦИРОВАНИИ ВИРУСОМ ГРИППА КУЛЬТУРЫ КЛЕТОК MDCK

М. Ю. Кардакова

Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»
Новосибирский государственный университет

Инфицирование клетки вирусом гриппа включает в себя несколько этапов: 1) связывание вириона с клеточными рецепторами с последующим эндоцитозом вирусной частицы внутрь клетки (образование ранней эндосомы) 2) приближение вируса к клеточному ядру (поздняя эндосома с пониженным рН) 3) выход генома вируса в цитоплазму клетки в результате внутриэндосомальных конформационных переходов белков вирусной оболочки (слияние мембран вируса и клетки) 4) экспрессия вирусных генов в клетке и сборка дочерних вирусных частиц.

Целью работы является разработка кинетической модели и экспериментальное изучение кинетики лизосомальной активации клетки в результате рецептор-обусловленного эндоцитоза вирусной частицы. Для наблюдения изменений, происходящих с клетками на первых стадиях проникновения вирусной частицы в клетку применяли лизосенсор – рН-зависимый флуоресцентный маркер DND-167, интенсивность флуоресценции которого увеличивается при понижении рН внутри эндосомы от нормального значения до рН 4-5. Калибровочная зависимость интенсивности флуоресценции DND-167 от величины рН позволяет изучать кинетику лизосомальной активации клетки, индуцированной проникновением вируса в клетку. Разработанная кинетическая модель позволяет выделить два основных параметра, характеризующих взаимодействие вируса с клеткой – это константа проникновения вируса в клетку и скорость изменения внутриэндосомальной рН.

Экспериментальные исследования, проведенные на монослое культуры клеток MDCK с использованием штамма вируса гриппа A/Aichi/2/68 и фетуина, молекулы-блокатора связывания вируса с клеткой, показали, что ингибирование флуоресценции DND-167 коррелирует с ингибированием инфекционности вируса гриппа, а разработанная кинетическая модель адекватно описывает экспериментально наблюдаемый процесс кинетики лизосомальной активации клетки в результате рецептор-обусловленного эндоцитоза.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ ЭНЕРГИИ В ТКАНЯХ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПРОТОНАМИ

Н. С. Мельников

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского

В последнее время в лучевой терапии предлагается использовать пучки протонов для лечения онкологических заболеваний, расположенных на относительно больших глубинах вблизи чувствительных тканей. Это обусловлено особенностью прохождения протонов в веществе – наличием так называемого пика Брэгга. В клинической практике выбор необходимой очаговой дозы пока осуществляется на базе субъективного опыта и интуиции врача-радиолога. Поэтому для планирования лучевой терапии актуальным является моделирование процесса прохождения заряженных частиц в биологических тканях с целью подбора их энергий и последующего расчета суммарной очаговой дозы (СОД).

В качестве объектов теоретического исследования в данной работе были выбраны глаз человека с опухолью, расположенной в задней части глазного яблока, и костная ткань с патологией. Моделирование проводилось с использованием программы “Ttion” (transport ion), которая позволяет предсказывать распределение поглощенной энергии по глубине образца определенного химического состава как для однородных, так и гетерогенных (слоистых) систем с известной массовой плотностью.

В результате моделирования установлено, что для глаза человека максимальная поглощенная доза на глубине 23 – 24,7 мм будет соответствовать облучению пучком протонов с дискретными энергиями 56, 56,5 и 57 МэВ. Рассчитанная суммарная энергия, поглощенная опухолью, при этом составит 25,71 МэВ/см, разовая очаговая доза (РОД) – 15 Гр. Для костной ткани с патологией максимальная поглощенная доза на глубине 0,5 – 3 см может быть достигнута при облучении протонами с энергиями от 25 до 65 МэВ с шагом не более 5 МэВ. Суммарная поглощенная опухолью энергия – 335 МэВ/см. При облучении полиэнергетическим пучком протонов максимум удельных потерь со средним значением 246,11 МэВ/см, локализованный в объеме опухоли костной ткани, соответствует диапазону энергий налетающих частиц от 25 до 90 МэВ. РОД в объеме новообразования в случае моно- и полиэнергетических пучков составляет 11 Гр. Предсказываемые РОД соответствуют медицинским данным, при которых происходит разрушение опухолевых клеток на заданной глубине.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ АГРЕГАЦИИ ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ СВЕТОРАССЕЯНИЯ

А. Е. Москаленский

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

В работе исследуются биологические процессы, в которых происходит агрегация (слипание) частиц, а именно - иммуноагглютинации или агрегации тромбоцитов. Иммуноагглютинация – процесс агрегации латексных микросфер, обусловленный специфическим взаимодействием антигенов и антител. Агрегация тромбоцитов – процесс, который лежит в основе работы системы гемостаза человека.

Остается актуальным разработка метода обнаружения агрегации на ранних и промежуточных стадиях. Измерение кинетики агрегации позволило бы получать количественные результаты: концентрацию антител в растворе или эффективность слипания тромбоцитов. Это можно сделать на сканирующем проточном цитометре, который позволяет измерить зависимость рассеянного света от угла рассеяния (индикатрису) для каждой частицы. Однако использование светорассеяния для изучения агрегации частиц требует решения обратной задачи, то есть восстановления параметров агрегатов по индикатрису.

Целью данной работы является решение обратной задачи светорассеяния для агрегатов частиц. Определить параметры произвольного агрегата по индикатрису представляется сложным из-за большого количества параметров. Однако димеры (две слипшиеся частицы) имеют сравнительно малое число параметров.

К настоящему времени решена обратная задача для димеров шарообразных частиц. Была насчитана база данных индикатрис таких агрегатов. Также на сканирующем проточном цитометре был проведен эксперимент по измерению димеров латексных микросфер. Экспериментальные индикатрисы и наиболее близкие из базы данных показали хорошее согласие.

В настоящее время ведется работа над решением обратной задачи для димеров тромбоцитов, которые имеют несферическую форму.

1. D. W. Mackowski, M. I. Mishchenko. Calculation of the T-matrix and the scattering matrix for ensembles of spheres. Journal of the optical society of America A, 13:2266-2278 (1996).

2. D. W. Mackowski. Calculation of the scattering properties for a cluster of spheres, <ftp://ftp.eng.auburn.edu/pub/dmckwski/scatcodes/scsmfo.ps> (1999).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПЛЕНОК ИЗ БИООРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ

Е. С. Мусатова

Амурский государственный университет, г. Благовещенск
Амурская государственная медицинская академия

В настоящее время особенно актуальны исследования в области магнитобиологии и магнитотерапии. Несмотря на то, что изучению механизмов биологического и лечебного воздействия магнитных полей (МП) посвящено большое количество работ, многие стороны лечебного действия МП остаются недостаточно исследованными, а приборная база данного вида терапии требует постоянного развития и обновления.

Специфическое применение кристаллографического метода в биологии и медицине обусловлено тем, что многие биологические структуры (хлоропласты, мышечная и нервная ткани, мембраны, зрительные рецепторы, др.) обладают жидкокристаллическими свойствами.

Объектом работы является кристаллическая структура жидкой среды, подверженная влиянию магнитного поля. Исследуемую биологическую жидкость (урина) делили на несколько частей и добавляли примеси (NaCl , CuCl_2 , сахар и т.п.). Затем полученные растворы подвергали действию переменного магнитного поля с помощью, сконструированной по собственному проекту, установки. Далее их выпаривали и получали кристаллографические структуры, которые сравнивали с известными данными. В результате были обнаружены существенные изменения морфометрических параметров кристаллов хлорида натрия (с увеличением напряжения размеры кристаллов и количество центров кристаллизации уменьшается). В случае с хлоридом меди отмечаются грубые отложения на лучах кристаллов (дендритные отростки), причем количество центров кристаллизации уменьшается, а размеры кристаллов увеличиваются. Таким образом, практическое применение кристаллографического метода исследования биологических субстратов заключается в возможности дифференциальной диагностики различных патологических процессов.

Установлено, что магнитное поле существенно меняет кристаллические свойства биоорганических жидкостей, что имеет большое практическое значение.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. Ю. Сетейкин,
канд. мед. наук С. В. Зиновьев.

ИССЛЕДОВАНИЕ КЛЕТОЧНОГО ЦИКЛА С УЧЕТОМ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЕТОК ПО СКОРОСТЯМ ДЕЛЕНИЯ

Ю. Г. Пичугин

Институт химической кинетики и горения СО РАН
Новосибирский государственный университет

Исследование клеточного цикла является актуальной задачей для современной биологии. В настоящее время наука подошла к возможности численного описания данного процесса. Вследствие этого, интересным представляется вопрос о ширине функции распределения клеток по скоростям их прохождения по клеточному циклу и эффекты, связанные с ним.

В данной работе рассмотрены две модели поведения клеток при делении – модель полной корреляции, при которой предполагается, что при делении клетка потомок сохраняет скорость клетки предка, и модель полной декорреляции, в которой предполагается, что после рождения клетка выбирает скорость прохождения по клеточному циклу случайно и независимо от скорости родительской клетки. Показано, что модель полной корреляции имеет неустойчивое поведение. Также найдено стационарное решение в случае модели полной корреляции.

Построенные модели использовались для обработки экспериментальных данных. Была решена обратная задача по этим данным и найдены параметры модели, описывающие рассмотренный процесс. При решении были найдены следующие параметры: средняя скорость прохождения по клеточному циклу, среднеквадратичное отклонение этой скорости, а также длины фаз G1, S, G2 и M в клеточном цикле для клеток имагинальных дисков дрозофиллы.

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

АНАЛИЗ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ СПОСОБНОСТИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ ОЛИГОНУКЛЕОТИДОВ

А. А. Польщичин

Новосибирский государственный университет

Олигонуклеотиды, короткие синтетические фрагменты ДНК, в последнее время находят широкое применение в исследованиях молекулярно-биологических процессов, генодиагностике и биосенсорах за счет способности формировать дуплексы с комплементарными последовательностями ДНК.

Целью работы является анализ прогностической способности методов расчета термодинамических параметров образования ДНК/ДНК комплексов олигонуклеотидов.

Методом молекулярной динамики (силовое поле AMBER) получены траектории движения длиной 10 нс для модельных схем $d(\text{TATA})_2$ и $d(\text{CGCG})_2$. Моделирование производилось с использованием сольватационной модели Гаусса и в водной оболочке.

В случае использования гауссовой оболочки выявлено отклонение геометрии двойной спирали от В-формы, которое увеличивалось с ростом температуры. Показано, что комплекс $d(\text{CGCG})_2$ стабильнее, чем $d(\text{TATA})_2$. Полученные величины энергии перехода спираль-клубок ДНК коррелируют с экспериментальными значениями.

При использовании водной оболочки сохраняется геометрия дуплексной структуры, однако такие расчеты требуют большего времени. Минимальная величина радиуса гидратационной оболочки, необходимая для учета взаимодействия ДНК – вода, составила ~ 0.6 нм.

Проведено детальное исследование влияния ряда одновалентных катионов на термическую стабильность комплексов олигонуклеотидов методом термической денатурации с оптической регистрацией сигнала. Показано, что связывание катионов с ДНК носит насыщающий характер; эффективность взаимодействия одновалентных катионов с ДНК зависит от GC-состава дуплекса; при равных концентрациях катионов в растворе Li^+ в большей степени стабилизирует дуплексные структуры.

Анализ экспериментальных данных с использованием представленных в литературе моделей показал возможность прогностического расчета термостабильности комплексов олигонуклеотидов в присутствии различных одновалентных катионов. Определены характеристические величины параметров моделей.

Научные руководители - канд. физ.-мат. наук А. А. Ломзов, д-р физ.-мат. наук Ю. Н. Воробьев.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В НОСОВОЙ ПОЛОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПАТОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НОСОВЫХ ХОДОВ

А. С. Садовский

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

Для всестороннего исследования процессов дыхания необходимо математическое моделирование, поскольку полость носа человека имеет сложное строение и труднодоступна для традиционных методов диагностики потока.

В данной работе по серии томографических снимков носовой полости, сделанных в коронарных плоскостях, с помощью стандартного пакета Grapher и препроцессора пакета FLUENT GAMBIT строятся поверхности, ограничивающие носовую полость. Внутри объёма, созданного поверхностями, в GAMBIT-е строится объемная разностная сетка, на которой с помощью пакета FLUENT численно решается задача о течении воздуха на основе уравнений Навье – Стокса [1]. Задача решалась как для правой и левой частей носовой полости отдельно, так и для всей носовой полости сразу. Число расчетных ячеек составляло $10^6 \div 3,6 \cdot 10^6$.

Исследовались носовые полости конкретного человека с патологией. По результатам расчёта построены зависимости массового расхода воздуха от перепада давления на входе и выходе. Получены поля скорости, что позволяет определить области ее максимального значения, застойные зоны и зоны обратного течения. Рассмотрены также поля температуры при разных значениях температуры вдыхаемого воздуха, что позволяет рассмотреть способность носовых полостей к прогреву вдыхаемого воздуха. Расчёты проводились для режимов вдоха и выдоха, при разных перепадах давления. Приведена визуализация течения в носовой полости.

Численные исследования позволяют не только получить картину течения, но и проводить виртуальные операции в носовой полости, которые дают медикам рекомендательный материал для планирования хирургического вмешательства.

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

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

НЕКОТОРЫЕ КОМБИНАТОРНЫЕ СВОЙСТВА НУКЛЕОТИДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Е. А. Темлякова, В. М. Луговой
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Симметрией частотного словаря называется равенство либо близость значений информационной ценности двух слов, составляющих комплиментарный палиндром, она указывает на то, что правило Чаргаффа оказывается справедливой и для каждого из стрэндов ДНК по отдельности. Однако, симметрия, не является абсолютной: значения информационной ценности триплета и его комплиментарной пары не совпадают полностью, но различаются в третьем — втором знаках. У такого нарушения может быть две причины — эффект конечности и биологические особенности рассматриваемой последовательности. Для выяснения причин этого нарушения для этих частотных словарей вычислялась величина информационной невязки μ .

Рассматривались связные нуклеотидные последовательности длины N . Совокупность всех слов, встречающихся в изучаемой последовательности, называется её носителем. Сопоставим каждому элементу ω носителя (слову) число его копий; такая конструкция является конечным словарем. Заменяя число копий частотой f_ω , получим частотный словарь. Для каждого частотного словаря можно построить восстановленный частотный словарь, содержащий ожидаемые частоты \tilde{f}_ω . Такие ожидаемые частоты соответствуют принципу максимума энтропии восстановленного частотного словаря. Отношение реальной и ожидаемой частот одного и того же слова называется его информационной ценностью p_ω .

Исследовалось поведение информационной невязки на фрагментах последовательности различной длины. Различные фрагменты обладают разными значениями невязки. Тот же вычислительный эксперимент проводился для суррогатных нуклеотидных последовательностей двух типов: сгенерированных при помощи бернуллиевского потока и путем замены кодонов на синонимичные с сохранением трансляции и частот соответствующих аминокислот. Реальные последовательности очень сильно отличаются от суррогатных каждого типа.

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

ВИРТУАЛЬНЫЙ ОРГАНИЗМ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ МОДЕЛИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

С. С. Хайрулин

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

Данная работа посвящена созданию действующей трехмерной компьютерной модели нематоды *C. Elegans*, включающей сенсорную, нервную и мышечную системы, взаимодействующие между собой и рассматриваемые в физическом окружении. Создание подобной модели позволит заложить фундамент для изучения нервной системы значительно более сложных существ, а также существенно расширить возможности проектирования искусственных нейронных сетей.

На данный момент достигнуты следующие результаты. Сделан симулятор мышечной системы и окружения, в котором модель функционирует. В его основе лежит физическая модель, построенная в виде системы связанных точечных масс и пружин; последние могут сокращаться под действием посылаемых им сигналов нервных импульсов от моторных нейронов пропорционально интенсивности сигнала. В модели используются экспериментальные данные о координатах нейронов и связях между ними; координаты нейронов динамически связаны с пружинно-мышечным каркасом *C.Elegans*. В рамках этой модели мы можем регистрировать для каждой точки момент касания поверхности и посылать сигнал соответствующим клеткам-детекторам тактильных ощущений, а в случае активации моторных нейронов сокращать те или иные мышцы. На данный момент сделана нейронная сеть мотонейронов (моторный контур), которые управляют поведением мышечной системы организма, эта нейронная сеть станет подсетью большей сети, охватывающей все нейроны *C.Elegans*. При симуляции мы столкнулись с проблемой разработки модели, учитывающую скорость распространения сигнала по нейронной сети, поскольку, по последним данным (S.R. Lockery *et. al.*, 2009) сигнал по нервной сети червя распространяется посредством градуальных потенциалов, а не потенциалов действия, как у более сложных организмов. Градуальные потенциалы характеризуются медленной скоростью распространения и затуханием по мере удаления от источника; оба фактора требуют учета длины соединениями между нейронами. В связи с этим в нашей симуляции мы решили использовать «модели псевдонейронов», которые будут задавать дискретизацию распространения сигнала а также позволят радикально улучшить графическое представление нейронной сети.

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

ВЛИЯНИЕ НЕИОННЫХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ ОЛИГОНУКЛЕОТИДОВ С ДНК

И. В. Хало

Новосибирский государственный университет

Олигонуклеотиды – это короткие синтетические одноцепочечные фрагменты ДНК, имеющие широкую область применения за счет способности образовывать двуцепочечные структуры с комплементарными последовательностями. Эффективность связывания олигонуклеотидов с ДНК характеризуется термической стабильностью этих комплексов, которая определяется термодинамическими параметрами (ΔH^0 , ΔS^0 , ΔG^0) и зависит от среды, в которой они находятся.

Цель данной работы – охарактеризовать влияние неионных факторов среды на эффективность комплексообразования олигонуклеотидов с ДНК.

Проведен анализ литературных данных, который позволил систематизировать различные факторы, влияющие на термическую стабильность ДНК-дуплексов.

Методом термической денатурации с оптической регистрацией сигнала было проведено исследование термической стабильности додекануклеотидного комплекса в присутствии ряда спиртов: этанола, трифторэтанола, цианоэтанола, этиленгликоля и диэтиленгликоля (объемная доля от 0 до 50%). Получены зависимости термодинамических параметров и температуры плавления ($T_{пл}$) комплексов олигонуклеотидов от концентрации соразтворителей. И показано, что в присутствии трифторэтанола наблюдается нелинейная зависимость $T_{пл}$. При этом энтальпия комплексообразования незначительно увеличивается с ростом концентрации соразтворителей, что может свидетельствовать о конформационных перестройках в одноцепочечном, и/или двуцепочечном состояниях.

Методом кругового дихроизма были охарактеризованы структуры олигонуклеотидов и их комплексов. Было установлено, что в исследованном диапазоне концентраций соразтворителей происходят незначительные конформационные перестройки, что коррелирует с полученными значениями энтальпии комплексообразования.

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

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДВУМЕРНОГО ЭЛЕКТРОФОРЕЗА И МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ В ПРОТЕОМНОМ СОСТАВЕ ХРУСТАЛИКОВ КРЫС ВИСТАР И OXYS В ПРОЦЕССЕ КАТАРАКТОГЕНЕЗА

И. В. Черепанов

Международный томографический центр СО РАН
Новосибирский государственный университет

Катаракта – заболевание, причиной которого являются многочисленные модификации основных белков хрусталика – кристаллинов. В данной работе исследовалось изменение в белковом составе хрусталиков крыс двух линий: контрольной линии Вистар и преждевременно стареющих крыс OXYX. Исследование проводилось с помощью методов двумерного электрофореза и масс-спектрометрии.

Задачей данной работы было установление изменения в протеомном составе хрусталиков крыс с возрастом и в процессе образования катаракты.

На начальном этапе работы были выделены и гомогенизированы хрусталики пяти возрастов крыс линий Вистар и OXYX. Гомогенаты хрусталиков разделены на водорастворимую и мочевинорастворимую фракции. Для каждого образца с помощью метода двумерного электрофореза получены протеомные карты, по которым определен относительный состав белков в хрусталиках. С помощью масс-спектрометрического исследования пятна в полученных протеомных картах отнесены к белкам, входящим в состав хрусталика. На данном этапе работы можно сделать вывод, что заметные пост-трансляционные модификации белков хрусталика наблюдаются с двухмесячного возраста крысы. Установлено, что с возрастом γ -кристаллины агрегируют, что приводит к уменьшению их количества в водорастворимой фракции и увеличению количества в фракции, растворимой в мочеvine. Агрегация γ -кристаллинов может быть связана с накоплением пост-трансляционных модификаций с возрастом.

Дальнейшие исследования будут направлены на определение модификаций белков, связанных с развитием катаракты, и на выявление механизмов образования этих модификаций.

Работа выполнена при поддержке: РФФИ (№08-03-00539 и №09-04-12135), а также гранта Отделения химии и наук о материалах РАН.

Научный руководитель – Л. В. Копылова.

ИЗМЕРЕНИЕ КОНСТАНТЫ СКОРОСТИ ДИМЕРИЗАЦИИ ТРОМБОЦИТОВ МЕТОДОМ СВЕТОРАССЕЯНИЯ НА ОДИНОЧНЫХ ЧАСТИЦАХ

Т. Н. Шерстова, А. В. Чернышев, В. М. Некрасов
Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Агрегация тромбоцитов – процесс слипания тромбоцитов с образованием конгломератов клеток крови, лежащий в основе работы системы гемостаза. В данной работе предложена методика использования сканирующего проточного цитометра для исследования кинетики агрегации *in vitro* активированных тромбоцитов с целью определения константы скорости димеризации, как количественной характеристики степени активации тромбоцитов.

Сканирующий проточный цитометр (СПЦ) позволяет измерять угловую зависимость интенсивности светорассеяния от одиночных частиц со скоростью до 500 частиц в секунду. Текущая конфигурация СПЦ измеряет индикатрису светорассеяния в диапазоне полярных углов от 5 до 60 градусов, интегрируя светорассеяние по азимутальному углу от 0 до 360 градусов.

Для подготовки образцов использовалась цельная периферическая венозная кровь из локтевой вены здоровых доноров, взятая с помощью шприца в пробирку с антикоагулянтом - 3.8% раствором цитрата натрия - в соотношении объемов 9:1. Далее цельная венозная кровь с антикоагулянтом отстаивалась в течение одного часа при комнатной температуре, чтобы эритроциты успели осесть на дно пробирки. Снятием верхнего слоя с отстоявшейся крови получали обогащенную тромбоцитами плазму. Процесс агрегации тромбоцитов запускали добавлением индуктора агрегации – раствора аденозиндифосфата (АДФ) при концентрации 2×10^{-5} моль/л). Остановка процесса агрегации тромбоцитов достигалась разбавлением небольших порций смеси изотоническим буферным раствором в 100 раз через определенные интервалы времени (1, 3, 5, 7, 10 и 15 минут), после чего полученный раствор являлся измеряемой на СПЦ пробой.

Динамика агрегации частиц описывалась с помощью уравнения Смолуховского. Определены константы димеризации $k(1,1)$ для двух доноров: для первого- $(1.1 \pm 0.1) \cdot 10^{-11}$ см³/с, для второго- $(6.0 \pm 0.5) \cdot 10^{-12}$ см³/с

Проделанная работа продемонстрировала возможность применения сканирующего проточного цитометра (СПЦ) для измерения кинетики агрегации тромбоцитов.

Научные руководители - канд. физ.-мат. наук А. В. Чернышев, В. М. Некрасов.

КВАНТОВАЯ ОПТИКА

СГЛАЖИВАНИЕ СПЕКТРА ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК В СХЕМЕ ЗАПИСИ С ФАЗОВОЙ МАСКОЙ

С. Р. Абдуллина, И. Н. Немов

Институт автоматизации и электротехники СО РАН

Волоконные брэгговские решетки (ВБР) в настоящее время широко используются в различных устройствах волоконной оптики. Конкретные применения ВБР налагают определённые требования на форму спектра ВБР. Одним из наиболее общих требований является отсутствие боковых резонансов, которые могут достигать нескольких десятков процентов. В спектрах высокоотражающих решеток, записанных гауссовым пучком, возникают резонансы в коротковолновой области. Качественно это объясняется тем, что брэгговская длина волны принимает максимальное значение в центре решетки и уменьшается к ее краям. Поэтому, края формируют резонатор Фабри-Перо для коротковолновой части спектра отражения. Для устранения этого, необходимо обеспечить постоянство среднего значения наведенного показателя преломления вдоль ВБР.

В работах [1,2] были представлены способы подавления боковых резонансов ВБР, записанных гауссовым пучком с помощью фазовой маски и интерферометра Ллойда соответственно.

В данной работе рассматривается возможность аподизации ВБР, записываемых в области интерференции двух полных гауссовых пучков, оси которых разнесены на расстояние $2dz$, $dz \leq 0.5w - 0.6w$. Также, проводится сравнение с результатами аподизации наведенного показателя преломления способами, описанными в предыдущих работах. В результате моделирования выявлено, что ширина основного пика для «двух гауссов» и «полугаусса» близкая, при этом для «полугаусса», амплитуда спадает более плавно, до достижения dz значения $\sim 0.3w$. Амплитуда боковых резонансов в коротковолновой части спектра значительно меньше для случая «двух гауссов» при равных dz , для $dz \geq 0.5w$ в обоих случаях возникают резонансы в длинноволновой части спектра. Таким образом, расчет показал, что аподизация в случае записи ВБР в области пересечения двух гауссовых пучков более эффективна, чем в схеме записи с интерферометром Ллойда.

1. С. Р. Абдуллина, С. А. Бабин, А. А. Власов, С. И. Каблуков, Простой способ аподизации при записи волоконных брэгговских решеток гауссовым пучком. *Квантовая электроника*, **36**, 966 (2006).

2. С. Р. Абдуллина, А. А. Власов, С. А. Бабин, Сглаживание спектра волоконных брэгговских решёток в схеме записи с интерферометром Ллойда. *В процессе публикации в «Квантовой электронике».*

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

УГЛОВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРА ПРОПУСКАНИЯ ОДНОМЕРНОГО ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА НА ОСНОВЕ НАНОКОМПОЗИТА

А. Ю. Авдеева

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Фотонные кристаллы (ФК) представляют собой, как правило, искусственные структуры с периодически меняющейся в пространстве диэлектрической проницаемостью. Важным свойством ФК является наличие фотонных запрещенных зон (ФЗЗ) с низкой плотностью фотонных состояний и малым пропусканием [1-2].

В работе [3] изучены особенности спектра пропускания одномерного ФК состоящего из чередующихся изотропного слоя и слоя резонансного газа. В данном сообщении рассматривается кристалл, состоящий из чередующихся слоев изотропного диэлектрического материала и нанокompозита, в котором металлические наночастицы распределены случайным образом в диэлектрической матрице. Эффективная проницаемость такого нанокompозита имеет выраженный резонансный характер [4].

Используя метод трансфер-матрицы, показано, что имеются реальные возможности эффективного управления зонной структурой ФК путем изменения угла падения светового луча, изменения концентрации наночастиц в матрице, вариации параметров структуры ФК. В практических приложениях фотонные кристаллы на основе композитных сред могут быть перспективны для создания перестраиваемых узкополосных фильтров, построения новых типов оптических устройств.

1. Joannopoulos J. D., Meade R. D., Winn J. N. Photonic Crystals. Princeton: Princeton University Press, 1995. 137 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. Ветров С. Я., Тимофеев И. В., Кутукова (Авдеева) А. Ю. Спектральные свойства резонансного одномерного фотонного кристалла. // Оптика и спектроскопия. 2009. Т. 106, № 5. С. 840-844.

4. Дьяченко П. Н., Микляев Ю. В. Одномерный фотонный кристалл на основе нанокompозита: металлические частицы – диэлектрик. Компьютерная оптика, том 31, № 1.

РАЗРАБОТКА СЕНСОРА ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА С ПЛЕНОЧНОЙ НАНОСТРУКТУРОЙ ФУНКЦИАЛИЗИРОВАННОГО КРЕМНЕЗЕМА

И. А. Болдов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Одна из задач современных нанотехнологий связана с разработкой различного рода датчиков и сенсоров. Использование оптического волокна как основы для такого рода датчиков является наиболее перспективным, т.к. возможна реализация только оптической схемы дистанционного детектирования. Инертность материала, из которого оно изготовлено (двуокись кремния), размер несколько десятков микрон, нечувствительность к электромагнитным помехам, малое затухание светового сигнала, высокая пропускная способность канала информации, позволяют использовать их, в том числе в агрессивных и взрывоопасных условиях.

В работе исследованы сенсорные свойства различных красителей на основе перилоцианина и золь-геля кремнеземных наносфер диаметром 8-10 нм, нанесенных как на стеклянные подложки, так и на поверхность оптических волокон. Анализом для таких красителей являются аминокислотосодержащие вещества. Пленка из функциональных наночастиц кремнезема наносилась на торцы оптических волокон различного диаметра от 125 мкм до 600 мкм. Возбуждающее люминесценцию красителя излучение заводилось с противоположной стороны волокна. Люминесценция измерялась в обратном направлении через отрезающий накачку светофильтр. Установлено, что в зависимости от типа красителя при химической реакции с бутиламинол люминесценция пленочной наноструктуры либо сдвигалась в коротковолновую область спектра, либо проявлялась в виде новой полосы. Для увеличения детектируемого сигнала люминесценции от пленочной наноструктуры поверх неё формировалась фотонно-кристаллическая (ФК) пленка опала. ФК пленки опала наносились методом подвижного мениска из лиофобных суспензий частиц кремнезема с диаметром, который обеспечивал перекрытие стоп-зоны ФК с пиком люминесценции функционального красителя. Применение ФК «зеркала» позволило увеличить регистрируемый сигнал люминесценции в 3-4 раза. Кроме того, ключевым моментом применения ФК пленки явилось пористость её структуры, позволяющая аналиту проникать в сенсорную пленку с рецепторными молекулами.

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

ИЗМЕРЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ СЛОЕВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ

Г. М. Борисов, А. А. Ковалев

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

Полупроводниковые гетероструктуры находят широкое применение в лазерной технике, оптоэлектронике (фотодетекторы, насыщающиеся поглотители для лазеров), а также продолжают оставаться объектом научных исследований (когерентные переходные процессы и т. д.).

Проектирование оптических устройств на основе квантовых ям требует знания их оптических параметров: коэффициента преломления $n_w(\lambda)$ и экстинкции $\kappa_w(\lambda)$. При изготовлении полупроводниковых гетероструктур типа квантовых ям невозможно обеспечить однородность в плоскости слоёв. Поэтому под $n_w(\lambda)$ и $\kappa_w(\lambda)$ следует понимать величины, усредненные по слою, например, $\kappa_w \propto (\text{суммарное поглощение})/(\text{толщина слоя})$.

Разработан новый метод определения оптических констант слоев полупроводниковых гетероструктур, заключающийся в измерении характерных точек кривой отражения R_p как функции угла падения θ для р-поляризации света. Эти характерные точки кривой отражения - угол Брюстера θ_1 и угол θ_2 , соответствующий точке перегиба $R_p(\theta)$.

Численно определены зависимости этих характерных углов от длины волны излучения $\theta_{1,2}(\lambda)$. Собрана установка, позволяющая проводить измерения углов $\theta_{1,2}(\lambda)$, соответствующих характерным точкам угловой зависимости $R_p(\lambda)$. Проведены измерения для трех образцов: подложки GaAs, структуры InGaAs/GaAs с 10 квантовыми ямами (КЯ), GaAs/AlGaAs с 20 КЯ. Экспериментальные данные анализируются с использованием собственной программы, алгоритм которой основан на применении характеристических матриц среды.

В отличие от стандартных методов измерения $n_w(\lambda)$ и $\kappa_w(\lambda)$ по пропусканию (с необходимостью удаления подложки), данный метод использует отражательные характеристики образцов без дополнительной обработки. Кроме того, точность определения углов обычно выше точности амплитудных измерений.

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

ШИРОКО-ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ИТТЕРБИЕВЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР

А. А. Брызгалова

Новосибирский государственный университет

Перестройка длины волны излучения волоконных лазеров является актуальной задачей для множества применений. Однако, существующие методы перестройки, основанные на изгибе или нагреве Брэгговских решёток, не обеспечивают необходимой воспроизводимости или скорости перестройки.

В данной работе представлены результаты исследований иттербиевого волоконного линейного лазера с оригинальным широкополосным волоконным отражателем и призмённым селектором длин волн излучения. Показано, что наибольшая область перестройки длины волны генерации такого лазера достигается при использовании в резонаторе оптоволокон, поддерживающих поляризацию излучения. В этом случае были получены области перестройки длин волн излучения шириной от 47 (1069-1116 нм) до 90 нм (1045-1135 нм) при разных реализациях лазера. Средняя мощность излучения лазера составляла до 50 мВт, ширина линии – 0,1 нм.

Ниже представлена схема экспериментальной установки. Непрерывная перестройка длины волны излучения осуществлялась с помощью дискретных элементов - призмы и серебряного зеркала.

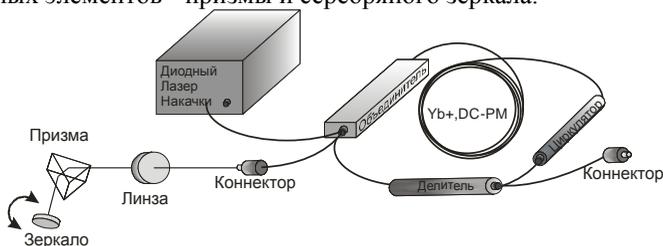


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

В работе приведены более подробные результаты экспериментальных исследований предложенной схемы резонатора лазера как в непрерывном режиме генерации, так и в режиме синхронизации мод с перестройкой длины волны излучения ультракоротких (фемто- и пикосекундных) импульсов в области шириной 50 нм (от 1065 до 1115 нм).

Разработанный и исследованный иттербиевый волоконный лазер обеспечивает воспроизводимую и быструю перестройку длины волны как непрерывного излучения, так и коротких импульсов, в спектральном диапазоне шириной 50-90 нм в зависимости от режима генерации.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ В КОРОТКОВОЛНОВОЙ ОБЛАСТИ ВОЛОКОННОГО ВКР-ЛАЗЕРА СО СЛУЧАЙНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

И. Д. Ватник

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Лазеры со случайно распределенной обратной связью, или “случайные” лазеры, представляют собой активную среду, при распространении по которой свет испытывает сильное рассеяние. Оптический путь при этом увеличивается достаточно для достижения условия генерации – превышения усиления над потерями [1]. В волоконном “случайном” ВКР-лазере происходит вынужденное комбинационное рассеяние света, распространяющегося по оптоволокну, с уменьшением частоты. Стоксово излучение изотропно рассеивается на флуктуациях коэффициента преломления так, что малая его часть (~ 0.1%) попадает обратно в волокно. Однако благодаря эффекту ВКР отраженное назад излучение усиливается, и создается достаточная обратная связь.

Недавно была впервые продемонстрирована возможность стационарной генерации в волоконном ВКР-лазере со случайной распределенной обратной связью [2]. При этом генерация осуществлялась в режиме аномальной дисперсии. В данной работе задачей ставилось получение генерации “случайного” ВКР лазера в режиме с нормальной дисперсией; изучение спектра такой генерации, и выявление механизмов спектрального уширения.

Использовалось волокно длиной 11 км с нулевой дисперсией на 1,3 мкм, накачиваемое иттербиевым лазером с длиной волны 1115 нм и максимальной мощностью 9 Вт. В волокне генерировалось стоксово излучение с длиной волны 1175 нм и шириной пика порядка 2 нм. Эффективность преобразования в первую стоксову компоненту достигала 30%. Впервые была наблюдаена генерация второй и третьих компонент в таком лазере. Изучены формы спектров излучения, проведено сравнение с режимом аномальной дисперсии.

1. D. S. Wiersma, The physics and applications of random laser, *Nature Physics* 4, 359 - 367 (2008).

2. S. K. Turitsyn et al., Random distributed feedback fibre laser, *Nature Photonics*, DOI:10.1038/NPHOTON.2010.4.

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

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОЛЕКУЛЯРНЫХ J И H АГРЕГАТОВ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

А. И. Горковенко

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

В последние годы значительные усилия были предприняты для создания и исследования молекулярных наноструктур, ярким примером которых являются молекулярные J- и H-агрегаты. Это упорядоченные структуры, образующиеся при определенных условиях в обширном классе органических красителей. Интерес к изучению молекулярных J- и H-агрегатов обусловлен высокой нелинейной восприимчивостью третьего порядка ($\chi^{(3)} \sim 10^{-5}$ СГС) на субпикосекундных временах оптического отклика, по сравнению со всеми известными органическими системами.

H-агрегаты, в отличие от J-агрегатов, являются малоизученными. Имеющиеся работы ограничиваются лишь вопросами синтеза и оптическими свойствами получаемых образцов. Различие в упаковке молекул в J- и H-агрегатах приводит к большему времени жизни просветленного состояния в случае H-агрегатов, по сравнению с J-агрегатами, что приводит к различному поведению нелинейно-оптического отклика и может служить важным фактором при проектировании оптоэлектронных устройств.

В данной работе изучались два типа образцов, имеющих пики поглощения в области 645-670 нм: бензотиазольный краситель ВТС18Н образующий H-агрегат с пиком на 670 нм, и тиофлавилиевый краситель DT-3 образующий J-агрегат с пиком на 645 нм.

Изучение нелинейно-оптических свойств заключалось в измерении коэффициентов нелинейного поглощения и производилось с помощью метода Z-Scan при наносекундном возбуждении излучением ПГС «Solar».

Измерены величины нелинейного поглощения в области пика поглощения. Произведено сравнение нелинейно-оптических свойств образцов, образованных двумя типами агрегатов. Построены дисперсионные кривые для контуров линейного и нелинейного поглощения вблизи пика нелинейного поглощения.

Научный руководитель – А. Э. Симанчук.

ОСОБЕННОСТИ УДВОЕНИЯ И УТРОЕНИЯ ЧАСТОТЫ ИТТЕРБИЕВОГО ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА С МОДУЛЯЦИЕЙ ДОБРОТНОСТИ

А. В. Денисов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Благодаря короткой длине волны, малому пятну фокусировки и высокой энергии фотона, ультрафиолетовые лазеры широко используются в точной обработке материалов, сверхплотной записи информации, медицине, научных исследованиях и многих других областях. Поэтому встаёт вопрос о создании эффективных лазерных источников излучения в этой области длин волн.

В данный момент одним из самых распространённых способов получения лазерного излучения в ультрафиолетовой области является генерация третьей гармоники излучения с длиной волны Nd:YAG 1064 нм. В качестве источника используются либо твердотельные лазеры либо схема «Твердотельный/полупроводниковый задающий лазер + волоконный усилитель» [1], дающие высокую (до 30%) эффективность преобразования первой гармоники в третью. Тем временем публикации, в которых бы описывалось использование полностью волоконного лазера, отсутствуют. Это может свидетельствовать о наличии проблем, мешающих эффективной генерации гармоник полностью волоконного импульсного лазера.

В данной работе для генерации второй и третьей гармоники использовалась система из иттербиевого волоконного лазера с модуляцией добротности и двухкаскадного усилителя (предусилитель + усилитель), позволявшая варьировать длительность импульса с сохранением его энергии. Для генерации второй и третьей гармоник использовались кристаллы КТР и ЛВО соответственно.

В ходе работы было обнаружено, что основной преградой к эффективной генерации высших гармоник в данной схеме является нелинейное уширение спектра первой гармоники в волоконном усилителе, начинающееся проявляться уже при нескольких киловаттах пиковой мощности.

В докладе рассмотрены основные эффекты, влияющие на эффективность преобразования излучения в высшие гармоники.

1. D.A.V. Kliner et al., «Efficient second, third, fourth, and fifth harmonic generation of a Yb-doped fiber amplifier», Opt. Comm., 210, 393-398, (2002).

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

ЯВЛЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ И ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛАХ, ИНФИЛЬТРОВАННЫХ КРАСИТЕЛЕМ

И. С. Дианов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

В связи с развитием нанотехнологий в последнее время большое внимание привлекают фотонные кристаллы (ФК). Уникальное свойство фотонных кристаллов заключается в наличии у них зон энергетического спектра, запрещенных для распространения электромагнитных волн. Запрещенные зоны возникают вследствие брэгговской дифракции волн на периодически модулированной диэлектрической структуре, период которой сравним с длиной волны света. Интерес, в частности, представляют влияние оптических свойств фотонного кристалла на свойства излучения источников, помещенных внутри среды, а также использование ФК в качестве основы для создания низкопороговых лазеров.

В работе исследовалась угловая зависимость спектров люминесценции органического красителя, инфильтрованного в объемный ФК и тонкие пленки ФК, полученные методом осаждения и методом подвижного мениска соответственно из суспензии монодисперсных сферических частиц кремнезема. Также была исследована явление лазерной генерации в системе «ФК-краситель». Фотонный кристалл наполнялся спиртовым раствором красителя родамин 6G с концентрацией 0,7 ммоль/л.

Показано, что особенности спектра люминесценции красителя в объемном опале (ФК) обусловлены наличием стоп-зоны в образце.

Также показано, что при превышении определенного порога накачки (порядка мкДж) люминесцентное излучение трансформируется. Спектр такого излучения существенно сужается по сравнению со спектром фотолюминесценции и представляет собой узкую интенсивную линию. Показано, что такое излучение имеет две природы: в одних образцах оно связано со случайной лазерной генерацией, которая возникает из-за присутствия эффективных рассеивателей света в усиливающей среде (дефектов структуры ФК), в других положение линии излучения определяется расположением края стоп-зоны ФК. В данном случае ФК выступает в роли резонатора с распределенной обратной связью.

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

ИМПУЛЬСНЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ ИК ВОДОРОДНЫЙ ЛАЗЕР

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

Данная работа является частью исследований нового направления в лазерной физике – создания импульсных индукционных газовых лазеров в УФ, видимой и ИК областях спектра.

В докладе сообщается о получении генерации в импульсном индукционном разряде цилиндрической формы на электронных переходах молекулярного водорода в диапазоне длин волн 0,8–1,2 мкм.

В экспериментах были использованы керамические разрядные трубки с различными внутренними диаметрами от 20 до 42 мм и длиной 80 см. Трубки заполнялись водородом при различных давлениях и по торцам герметизировались плоскопараллельными пластинами из кварца. Резонатор лазера представлял собой открытый интерферометр Фабри-Перо и был образован двумя диэлектрическими зеркалами. Одно из зеркал в диапазоне 0,8–1,2 мкм имело коэффициент отражения $R > 99\%$, а другое $R \approx 40\%$.

В работе исследовались спектральные, энергетические, временные и пространственные характеристики генерации индукционного H_2 лазера. Исследования спектрального состава показали, что при давлении 0,5–3 торр происходит генерация на четырех линиях: (1-0) P(2) с $\lambda_1=0,890$ мкм, (1-0) P(4) с $\lambda_2=0,888$ мкм, (0-0) P(2) с $\lambda_3=1,122$ мкм и (0-0) P(4) с $\lambda_4=1,116$ мкм. Лазерное излучение соответствовало электронному переходу $2s\sigma^1\Sigma_g^+(E)-(2ps)^21\Sigma_g^+$ молекулярного водорода. Достигнута энергия генерации индукционного H_2 лазера 0,16 мДж при длительности импульсов на полувысоте 18 ± 1 нс. Впервые достигнута импульсная мощность генерации индукционного водородного лазера равная 10кВт. Обнаружена сложная временная форма импульса генерации индукционного ИК H_2 лазера, которая зависела от параметров накачки и добротности резонатора. Вблизи основания длительность импульса достигала 45 нс. Лазер работал в режиме сверхсветимости и имел характерную пространственную зернистую структуру излучения. Поперечное сечение светового пучка индукционного водородного лазера имело форму кольца толщиной 4 мм и внешним диаметром примерно на 1 мм меньше внутреннего диаметра разрядной трубки. Расходимость лазерного излучения была около 0,5 мрад.

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

КВАНТОВАЯ ЗАДАЧА О СТАЦИОНАРНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ АТОМОВ В ПОЛЕ СТОЯЧЕЙ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ

Р. Я. Ильенков, Д. В. Бражников, А. В. Тайченачев
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирский государственный университет
Институт лазерной физики СО РАН

Лазерное охлаждение нейтральных атомов находит в настоящее время ряд важнейших применений в различных областях науки и техники: конденсация Бозе-Эйнштейна, стандарты частоты и времени, атомная нанолитография и др. Разработанные лазерные методы позволяют осуществлять локализацию атомов и их охлаждение до ультранизких температур (сотен нК). Для понимания физики происходящих при этом процессов, были развиты различные методики расчета кинетики атомов в лазерном поле. В виду сложности теоретического анализа используются те или иные приближения. Часто применяется квазиклассический подход, когда средний импульс атомов предполагается значительно больше импульса отдачи при испускании/поглощении фотона. Это позволяет изучать кинетику атомов на основе приближенного уравнения (Фоккера-Планка), вместо точного квантового кинетического уравнения. Остаются открытым вопрос о поведении атомов в чисто квантовых режимах.

В настоящей работе предложен новый метод поиска стационарного решения квантового кинетического уравнения для матрицы плотности с полным учетом эффектов отдачи в световом поле, образованном встречными волнами произвольной интенсивности. Предлагаемый метод позволяет получать более общее решение и проводить анализ кинетики атомов в координатном и импульсном пространствах. Метод был проверен на стандартной задаче об охлаждении и локализации двухуровневых атомов в одномерной оптической решетке. Например, было показано, что в слабом световом поле атомы локализуются в пучностях стоячей волны. Этот результат согласуется с известными ранее расчетами. Однако в случае сильного светового поля был обнаружен новый эффект – аномальная локализация атомов в узлах стоячей волны, где оптический потенциал имеет максимальное значение. Для существенно квантового режима была наблюдаена сложная многопиковая структура импульсного распределения, что согласуется с результатами других авторов, полученных другими методами, а также с данными ряда экспериментов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки «Развитие научного потенциала высшей школы» (2009-2010), РФФИ (10-02-00591, 10-08-00844, 10-02-91335, 08-02-01108, 08-07-00127) и фонда «Династия».

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

АМПЛИТУДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

Л. А. Кабанова, А. А. Колегов, С. С. Шмаков, Р. С. Ким
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

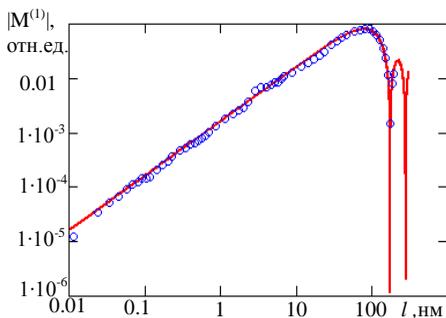


Рис. 1. Зависимость модуля амплитуды первой гармоники выходного сигнала от амплитуды колебаний зеркала

В настоящей работе представлены результаты исследования амплитудной характеристики голографического интерферометра [1, 2] на основе встречного взаимодействия света с длиной волны 633 нм (He-Ne лазер мощностью 20 мВт) в кристалле титаната висмута $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}\text{:Cu,Fe}$ среза (100) с толщиной $d=1.15$ мм. Выходной сигнал формировался за счет интерференции опорного пучка, отраженного от динамической

фоторефрактивной голограммы, и сигнального пучка с синусоидальной фазовой модуляцией, прошедшего через нее. Фазовая модуляция с частотой 622 Гц осуществлялась с помощью зеркала, приклеенного к пьезокерамическому цилиндру. Сигнал фазовой демодуляции на частоте первой гармоники с выхода интерферометра (рис. 1) измерялся с помощью селективного вольтметра, при полосе пропускания 1 Гц и селективности 40 дБ. Опорный пучок имел круговую поляризацию; линейная поляризация сигнального пучка выбиралась оптимальной для линейной демодуляции на первой гармонике [2]. При мощности сигнального пучка 0.5 мВт (контраст интерференционной картины $m \approx 0.3$) получено, что исследуемый интерферометр позволяет дистанционно фиксировать колебания отражающих объектов с амплитудой менее 25 пм.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)».

1. С. М. Шандаров, Н.И. Буримов, Ю. Н. Кульчин, Р. В. Ромашко и др. Квантовая электроника 38, 1059(2008).

2. S. M. Shandarov, A. A. Kolegov, et al. Physics of Wave Phenomena, 17, 39 (2009).

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

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ГЛУБИНЫ КАЛИБРОВОЧНЫХ РЕШЕТОК

А. С. Конченко, В. П. Корольков, Р. К. Насыров
Институт автоматизации и электротехники СО РАН
Новосибирский государственный университет

Большинство выпускаемых профилометров для измерения микрорельефа используют косвенные методы измерения и нуждаются в регулярной калибровке. Чаще всего калибровка производится при помощи микроструктур с уже известным значением глубины, например бинарных решеток. В данной работе представлен недорогой и доступный метод сертификации бинарных линейных калибровочных решеток, основанный на использовании спектральных свойств решеток с глубиной в несколько длин волн.

Оптическую разность хода Δl лучей, отраженных от верхней и нижней поверхностей решетки можно выразить через высоту профиля решетки H и угол падения света φ : $\Delta l = 2H/\cos \varphi$. Тогда интенсивность отраженного света в нулевом порядке дифракции будет иметь локальные максимумы при волновых числах падающего света, удовлетворяющих равенству $k = m \cdot \cos \varphi \cdot 2H/\lambda$, где $k=1/\lambda$, m – целое число длин волн, укладываемых в разности оптических путей. Отсюда легко можно выразить глубину решетки: $H = m \cos \varphi \cdot \lambda / 2k$.

Основными источниками погрешностей являются аппаратные ошибки спектрофотометра и угол α наклона стенок решетки. При $\alpha > 70^\circ$ погрешность определения глубины составляет не более 0,5 %. Погрешность определения длины волны, обусловленная ошибкой спектрофотометра, лежит в диапазоне 0,1-0,4 %. Диапазон глубин и периодов сертифицируемых решеток зависит от технологии изготовления решеток, диапазона длин волн и геометрии измерительного отсека спектрофотометра. По предварительным оценкам глубина решеток может быть от 400 до 10000 нм. Для типовых спектрофотометров с диапазоном длин волн 300-1000 нм, период решетки не должен превышать 25 мкм.

Предлагаемый метод был проверен экспериментально на бинарной решетке с периодом 20 мкм при угле падения света на решетку $\varphi = 8^\circ$ от нормали. Рассчитанная данным методом глубина составила 2,543 мкм при среднеквадратичном отклонении от этой величины 1,8 нм. Измерение на модернизированном микроинтерферометре МИИ-4, калиброванном по линейному энкодеру, дало значение глубины 2,57 мкм.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 532 НМ В КРИСТАЛЛЕ MgO:PPLN В ОДНОПРОХОДНОМ РЕЖИМЕ

П. Н. Косулин

Новосибирский государственный университет

Новые нелинейные кристаллы с регулярной доменной структурой (РДС кристаллы) позволяют достичь лучших эффективностей нелинейного преобразования длин волн непрерывного лазерного излучения по сравнению с традиционными нелинейными кристаллами, не имеющими доменной структуры (ВВО, ЛВО и другие). Относительно более высокая эффективность, например, удвоения частоты непрерывного лазерного излучения с помощью РДС кристаллов позволяет использовать их в однопроходном режиме вне резонатора лазера, что является существенно более простой техникой генерации второй гармоники по сравнению с техникой внешних резонансных удвоителей.

В данной работе приведены результаты исследования генерации второй гармоники в РДС кристалле MgO:PPLN (длина 30 мм) в однопроходном режиме при накачке излучением мощного твёрдотельного одночастотного лазера “Mozart” на длине волны 1064 нм. При мощности излучения накачки 1 Вт и температуре кристалла 62,2⁰С получено стабильное излучение мощностью 32 мВт на длине волны 532 нм. На рис. 1 приведена температурная зависимость мощности излучения второй гармоники, на рис. 2 – поперечное распределение излучения второй гармоники. В работе представлены также результаты исследований двухпроходной генерации второй гармоники и зависимость мощности её излучения от ширины линии излучения лазера накачки.

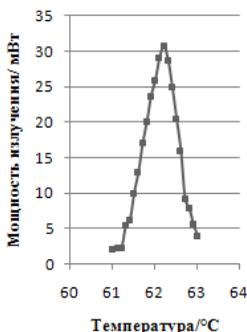


Рис. 1. Зависимость мощности излучения второй гармоники от температуры кристалла

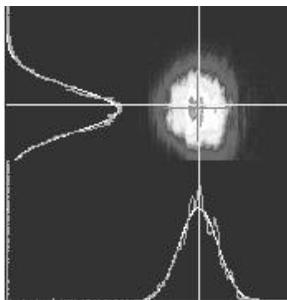


Рис. 2. Поперечное распределение интенсивности излучения второй гармоники, аппроксимированное функцией Гаусса

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

ФАЗОВЫЕ ШУМЫ И ВРЕМЕННОЙ ДЖИТТЕР ИМПУЛЬСОВ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРА

В. Е. Лещенко
Институт лазерной физики СО РАН
Новосибирский государственный университет

В Институте лазерной физики СО РАН развиваются работы по генерации мощного излучения предельно короткой длительности методом когерентного сложения импульсов ряда усилительных каскадов. Анализ показывает, что для эффективного когерентного сложения 10 фемтосекундных (фс) импульсов их относительный временной джиттер не должен превышать 200 аттосекунд (ас). Джиттер может иметь различное происхождение. Наиболее важный и существенный вклад в джиттер дают флуктуации длины резонатора, связанные с вибрациями зеркал и тепловым расширением механических узлов. Второй по значимости вклад дают тепловые эффекты в активной среде и флуктуации мощности накачки, приводящие к флуктуациям коэффициента усиления. В случае если описанные выше шумы удаётся подавить, то джиттер определяется квантовыми шумами, а именно спонтанным излучением.

В работе проанализированы различные схемы стабилизации и измерения джиттера фс лазеров на примере $Ti:Sa$ лазера. Разработана схема стабилизации и измерения джиттера с помощью цифрового частотно фазового детектора (ЧФД). Проведён анализ собственных шумов цифрового ЧФД и требований на джиттер опорного генератора, так как эти параметры определяют минимальный достижимый джиттер импульсов лазера. В частности показано, что использование в качестве опорного генератора стабилизированного $Nd:YAG$ лазера позволяет достичь джиттера импульсов $Ti:Sa$ фемтосекундного лазера менее 100ас.

Показано, что наиболее перспективным для измерения относительного джиттера двух генераторов (каждый из которых может быть как лазером, так и радиочастотным генератором) при величине более 1фс является использование цифрового ЧФД. Измеряемый относительный джиттер равен абсолютному джиттеру лазера, если стабильность опорного генератора лучше стабильности лазера. Для измерения относительного джиттера двух 10фс лазеров в диапазоне 10ас-1фс наилучшим разрешением обладает оптический балансный кросс-коррелятор.

Проведены измерения собственных шумов системы стабилизации, джиттера $Ti:Sa$ фемтосекундного лазера и проанализировано изменение параметров джиттера при распространении излучения через среду с флуктуирующим показателем преломления.

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

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ МИКРОРЕЗОНАТОРЫ С АКТИВНОЙ СРЕДОЙ НА ОСНОВЕ НАНОЗОЛЯ КРЕМНЕЗЕМА И ОРГАНИЧЕСКОГО КРАСИТЕЛЯ

Е. О. Мальцева

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Оптические микрорезонаторы (МР) на основе стеклянных капилляров могут иметь волноводные моды и моды типа шепчущей галереи (ШГ). Использование таких мод предоставляет уникальную возможность достижения добротности $Q \sim 10^6$ и более в оптическом диапазоне при размерах МР, сравнимых с длиной волны. Перспективы использования оптических МР с модами ШГ связаны с созданием высокочувствительных оптических химических или биологических сенсоров, в основе которых лежит изменение характеристик МР, когда биологические или химические материалы попадают в активную область, так что световая волна взаимодействует много раз с аналитом. Для подобного рода МР также ожидаются рекордно низкие пороги возбуждения лазерной генерации.

Для реализации указанных возможностей оптических МР на основе стеклянных капилляров в работе исследована активная среда на основе нанозоля кремнезема с диаметром частиц 5-7 нм с органическим красителем. После заполнения стеклянного капилляра нанозолем кремнезема с красителем и последующего высушивания образуется нанопористая активная среда.

В работе было проведено исследование спектральных и пороговых характеристик лазерной генерации в стеклянных капиллярах, заполненных нанозолем. Диаметры капилляров изменялись от 0.7 мм до 5 мм. Установлено, что порог лазерной генерации и модовый состав лазерного излучения зависят от диаметра МР, что может свидетельствовать о влиянии внутреннего радиуса цилиндрического МР на число дефектов образованных высохшим нанозолем с красителем.

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

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПИКИ УЛЬТРАКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ В ЛАЗЕРАХ С ПАССИВНОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ МОД

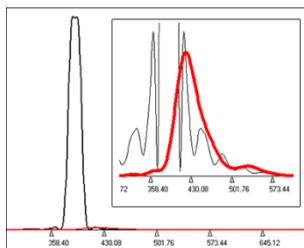
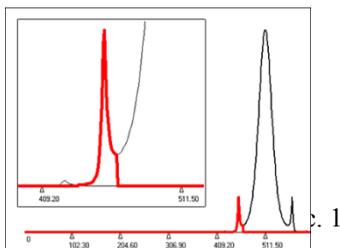
Д. В. Мещеряков

Новосибирский государственный университет
Институт автоматики и электротриии СО РАН

В настоящей работе на основе численного моделирования исследуется природа узкополосных спектральных пиков лазерных импульсов, механизмы их возникновения, их свойства. Анализ проводится с использованием уравнения Гинзбурга-Ландау 2-3-5-ой степени [1]:

$$\frac{\partial E}{\partial \xi} = (D_r + iD_i) \frac{\partial^2 E}{\partial \tau^2} + [G - \sigma + (p + iq)|E|^2 + (p_2 + iq_2)|E|^4 + (p_1 + iq_1)|E|]E,$$

где E , τ , ξ , G – амплитуда поля, время, координата и насыщающееся усиление. Установлено, что один из спектральных пиков (рис. 1) связан с пьедесталом переднего фронта импульса (рис. 2), другой – со спадом импульса. Дополнительное спектрально-селективное подавление одного из пиков не сказывается на формировании другого. Показано, что для характеристик устанавливающегося импульса наблюдается гистерезисная зависимость от параметров лазера. Нижняя ветвь гистерезисной петли соответствует более слабому импульсу без спектральных пиков, верхняя ветвь – более мощному импульсу с пиковой спектральной структурой. Обсуждаются физические механизмы возникновения пиков.



Численное моделирование было выполнено на основе разработанных программ с использованием быстрого фурье-преобразования, позволяющих выявить спектрально-временное соответствие отдельных фрагментов импульса, менять в реальном времени параметры моделируемой лазерной системы и отслеживать соответствующие изменения спектрально-временных характеристик поля.

1. Комаров А.К., Комаров К.П., Санчес Ф., Фотон-экспресс, 78, 170 (2009)

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. К. Комаров.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ОТ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

К. А. Окотруб

Институт автоматики и электротриии СО РАН

Новосибирский государственный университет

Работа посвящена созданию стенда для измерения КР от микроскопических объектов состоящего из микроскопной приставки и коммерческого спектрометра. Проведено экспериментальное исследование селективности микроскопной приставки работающей в режиме рассеяния назад (возбуждающее излучение и собранный рассеянный свет проходят в одном канале) для различных оптических схем. Был разработан микроскопный стенд, с возможностью перестройки оптической схемы. Для анализа рассеянного света использовался спектрометр TriVista777.

Рассмотрены три оптические схемы рассеяния назад: в параллельных лучах (infinity), внеосевая (off-axis infinity), конфокальная (finite). Проведены тесты на трех различных модельных объектах: кремниевая пластинка, кремниевая пластинка с нанесенным поверх слоем (~140 мкм) эпоксидного клея (имитирует образец на подложке или под покровным стеклом), включение оливина в алмазе (имитирует биологическую клетку в среде). Было показано, что пространственная селективность значительно изменяется при изменении оптической схемы. Внеосевая и конфокальная оптические схемы обладают более высокой пространственной селективностью, чем схема в параллельных лучах. Конфокальный режим показывает более высокую селективность в ситуациях с оптическими неоднородностями и неплоскими границами раздела сред. По результатам проведенных тестов была реализована конфокальная схема с разрешением по глубине: ~10 мкм (FWHM).

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

СТОЛКНОВИТЕЛЬНОЕ УШИРЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ПЕРЕХОДА В ГАЗЕ $^{13}\text{CH}_3\text{F}$

Е. С. Остапенко, Д. В. Ледовских, Н. Н. Рубцова
Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный университет

В работе экспериментально исследованы резонансы насыщенного поглощения в газе $^{13}\text{CH}_3\text{F}$ на вращательном переходе R(4,3) колебательной полосы 0-1 моды ν_3 . Для их формирования использовалось излучение непрерывного одномодового CO_2 -лазера, работающего на линии 9P(32). Излучение лазера разделялось на две части; более интенсивная использовалась для насыщения колебательно-вращательного перехода, менее интенсивная направлялась в рабочую ячейку с газом для регистрации резонансов насыщенного поглощения. Частота излучения лазера могла изменяться с помощью пьезокерамики, на которой укреплено выходное зеркало, а также путем изменения тока в катушках магнитострикции на арматуре лазера. Таким образом, исследовались резонансы насыщенного поглощения во встречных волнах.

Показано, что форма резонансов близка к лоренцевской, а её ширина монотонно нарастает с ростом давления газа.

В области давлений $^{13}\text{CH}_3\text{F}$ от 2 до 8 мТорр основной вклад в уширение резонансов вносит механизм столкновительного уширения с константой релаксации (32 ± 6) МГц/Торр, что совпадает с литературными данными, полученными методами фотонного эха [1] и методом двойного инфракрасно-микроволнового резонанса [2] в том же газе.

В области более низких давлений дополнительный вклад в уширение резонансов насыщенного поглощения вносят процессы упругого рассеяния на малые углы. Получена оценка характерного угла рассеяния молекул $^{13}\text{CH}_3\text{F}$, совпадающая по порядку величины с оценкой для угла дифракционного рассеяния.

1. K. L. Foster., S. Stenholm, and Richard G. Brewer // Phys. Rev. A. 1974. V. 10. № 4. P. 2318.

2. H. Jetter, E. F. Pearson, C. L. Norris, J. C. Mc Gurk, W. H. Flygare// J. Chem. Phys. 1973. V. 59. P. 1796.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Н. Н. Рубцова.

ОСОБЕННОСТИ ОТНОШЕНИЯ ЛАНДАУ-ПЛАЧЕКА В СТЕКЛУЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЯХ

В. А. Попова

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

Новосибирский государственный университет

Данная работа посвящена изучению температурной зависимости рассеяния Мандельштама-Бриллюэна в ряде стеклющихся жидкостей (пиколин, толуол, этанол, толуидин), которые в настоящее время представляют большой научный интерес. Каждый из образцов был предварительно очищен, дегазирован, запаян в ампулу и помещен в азотный криостат. Рассеяние возбуждалось лазером “Excelsiour” фирмы “Spectra Physics” ($\lambda = 532$ нм, мощность 100 мВт). Для получения и регистрации спектров рассеяния использовался сканируемый давлением интерферометр Фабри-Перо с ФЭУ в качестве детектора.

В результате проведенной работы получены температурные зависимости отношения интегральной интенсивности центральной компоненты к интегральным интенсивностям компонент Мандельштама-Бриллюэна (отношение Ландау-Плачека), а также значение частотного сдвига этих компонент внутри широкого температурного диапазона для каждой из изучаемых жидкостей. Согласно имеющимся теоретическим описаниям, существуют два асимптотических приближения для температурной зависимости отношения Ландау-Плачека, которые соответствуют высоким и низким температурам. Однако, существующих теоретических приближений не описывает полученные температурные зависимости.

Показано, что при охлаждении образцов, начиная с некоторой температуры T_A , наблюдается резкий рост величины отношения Ландау-Плачека. Трактовка полученных результатов может быть аналогична выводам работы [1]: при понижении температуры ниже температуры T_A в объеме стеклющегося материала возникают неоднородности нанометрового масштаба. Образование таких неоднородностей может привести к дополнительному релеевскому рассеянию, что отразится на увеличении отношения Ландау – Плачека.

1. N. V. Surovtsev, S. V. Adichtchev, V. K. Malinovsky. Transition from single-molecule to cooperative dynamics in a simple glass former: Raman line-shape analysis, Phys. Rev. E **76**. 021502 (2007).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ ПРИ ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОМ УДВОЕНИИ

Д. А. Раднатаров

Новосибирский государственный университет

Внутрирезонаторное удвоение частот лазерного излучения является эффективным способом преобразования узкополосного (неоднородного) излучения в коротковолновую область спектра. С развитием автоматизированных систем управления длиной волны излучения перестраиваемых лазеров возникла задача автоматического управления длиной волны излучения второй гармоники при использовании нелинейного кристалла внутри резонатора лазера.

В данной работе приведены результаты исследований двух методов автоматического управления положением нелинейного кристалла при изменении длины волны основного излучения. В первом методе контролировалось пространственное положение пучка второй гармоники, которое изменялось при изменении ориентации нелинейного кристалла. Было выявлено, что в этом методе необходимо учитывать снос излучения второй гармоники при повороте кристалла в широких пределах. Во втором методе положение нелинейного кристалла калибровалось с помощью измерителя длин волн излучения и подстройка кристалла, под длину волны основного излучения, осуществлялась под управлением компьютера. При автоматической перестройке длины волны основного излучения титан-сапфирового лазера в области 750-950 нм была достигнута одновременно автоматическая перестройка длины волны излучения второй гармоники в области 375-475 нм. Особенностью этого метода является наблюдаемое на некоторых длинах волн пространственное расщепление пучка второй гармоники, вызванное неполным угловым синхронизмом. Для уменьшения влияния этого эффекта излучение второй гармоники при помощи фокусирующей линзы заводилось в оптоволокно с диаметром светопроводящей жилы 400 или 600 мкм и длиной ~ 1 м. На выходе оптоволоконного излучения второй гармоники имело неизменное П-образное поперечное распределение интенсивности, как при полном угловом синхронизме, так и при неполном. Мощность излучения второй гармоники достигала 100 мВт и при изменении длины волны излучения лазера в относительно небольших пределах уменьшалась не более, чем на 5-7 % при неполном угловом синхронизме. Разработанный метод обеспечивает приемлемую степень синхронизма нелинейного кристалла при плавной перестройке длины волны излучения без использования систем обратной связи.

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

ПРОХОЖДЕНИЕ СВЕТА ЧЕРЕЗ ДВУМЕРНЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ ФОТОННЫЙ КРИСТАЛЛ

Н. В. Рудакова

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Электромагнитные волны, распространяющиеся в фотонных кристаллах (ФК), диэлектрические свойства которых меняются периодически, с периодом допускающим брегговскую дифракцию света, имеют зонный характер спектра. Благодаря наличию в спектре электромагнитных волн фотонных запрещенных зон (ФЗЗ) и областей аномального возрастания плотности фотонных состояний ФК вызывают повышенный интерес. Спектральные свойства ФК можно дополнительно существенно изменять, помещая внутрь периодической структуры резонансные среды. Наиболее интересными являются резонансные фотонные кристаллы (РФК), в которых оптические резонансы материалов близки к брегговским частотам решетки. Спектральные свойства таких РФК изучались в работах [1-3]. Особенности зонной структуры неограниченного 2D резонансного ФК изучены в [4]. В настоящей работе с помощью метода трансфер-матрицы исследуется спектр пропускания для электромагнитных волн s -поляризации, распространяющихся в РФК, имеющем форму пластинки безграничной в двух направлениях и конечной толщины. Кристалл состоит из бесконечных цилиндрических отверстий, заполненных резонансным газом и образующих квадратную решетку в диэлектрической матрице. Расчеты показывают, что сочетание дисперсии резонансного газа с дисперсией структур с фотонными запрещенными зонами приводит к качественному изменению спектров пропускания, появляются узкие полосы прозрачности в запрещенной зоне, а также дополнительные запрещенные зоны в сплошном спектре.

Установлено, что спектр пропускания весьма чувствителен к изменению давления газа, к положению резонансной частоты газа относительно края запрещенной зоны, который смещается при вариации угла падения.

1. Желтиков А.М., Наумов А.Н., Баркер П., Майлс Р.Б.. Опт. и спектр. 2000. Т. 89, № 2. С. 309.

2. Artoni M., Rossa G.La, Bassani F.. Phys. Rev. E. 2005. V. 72. P. 046604.

3. Ветров С.Я., Тимофеев И.В., Кутукова А.Ю.. Опт. и спектр., Т. 106, №.5, С. 840 (2009).

4. Ветров С.Я., Тимофеев И.В., Н.В. Рудакова. ФТТ, Т. 52, вып. 3, с. 489 (2010) (в печати).

ЭФФЕКТ СТОЛКНОВИТЕЛЬНОГО ФОТОННОГО ЭХА В ПАРАХ $^{174}\text{Уь}$

В. Д. Салахутдинов

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Эффект фотонного эха возникает при воздействии на резонансную среду последовательности двух импульсов, задержанных относительно друг друга на время T . Эффект проявляется в виде третьего импульса когерентного излучения, задержанного на время T относительно второго из возбуждающих импульсов. На переходе $J = 0 \rightarrow J = 1$ фотонное эхо не возникает, если поляризации двух возбуждающих импульсов «ортогональны» друг другу. Известно, что для данного типа переходов запрет на возбуждение фотонного эха двумя импульсами с ортогональными линейными поляризациями можно снять воздействием на среду аксиального, относительно распространения возбуждающих импульсов, магнитного поля [1]. Для ортогональных круговых поляризаций запрет на возбуждение фотонного эха для такого типа переходов не снимается.

Новый эффект снятия запрета на возбуждение фотонного эха ортогонально - линейно поляризованными импульсами на переходе $0 \rightarrow 1$ был обнаружен сравнительно недавно [2]. Запрет снимается в результате взаимодействия рабочего газа – пары иттербия, с буферным газом – естественная смесь изотопов ксенона. В случае противоположно направленных циркулярно поляризованных волн запрет либо сохраняется, либо снимается в очень незначительной степени, что является предметом дальнейшего изучения. В качестве основной гипотезы рассматривается эффект взаимодействия магнитных моментов атомов рабочего и буферного газов.

В данной работе приведены исследования по получению столкновительного фотонного эха с использованием аргона в качестве буферного газа. Обладая нулевым магнитным моментом ядер всех изотопов, данный газ хорошо подходит для проверки вышеизложенной гипотезы.

1. V.N. Ishchenko, E.B. Khvorostov, S.A. Kochubei, N.N. Rubtsova, and I.V.Yevseyev, *Laser Physics*, vol. 12, №8, pp. 1079-1088, 2002

2. Н.Н. Рубцова, В.Г. Гальдорт, И.В. Евсеев, В.Н. Ищенко, С.А. Кочубей, Е.Б.Хворостов, *Письма в ЖЭТФ*, том 87, вып.2, с. 110-113, 2008

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

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ НАПЫЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ

З. В. Семёнов, И. А. Зарубин
Институт автоматике и электрометрии СО РАН

При создании современных оптических элементов широко используются многослойные диэлектрические покрытия, обеспечивающие требуемые спектры пропускания или отражения. Такие покрытия обычно изготавливаются путём неоднократного последовательного нанесения слоёв двух материалов с разными показателями преломления. Для получения нужного спектра часто требуется наносить до сотни слоёв с характерными толщинами десятки нанометров.

Чем больше наносится слоёв, тем выше требования к системе контроля их толщин и однородности. Одним из наиболее перспективных методов такого контроля является измерение коэффициента отражения (пропускания) в широком спектральном диапазоне (broadband). Прецизионное измерение такого коэффициента можно осуществлять с помощью многоканального спектрометра «Колибри-2», спектральный диапазон которого можно выбирать в области 190 – 1100 нм.

Цель работы – создание системы контроля на основе многоканального спектрометра «Колибри-2» с программным обеспечением «LayerControl».

Система контроля обеспечивает измерение спектров отражения, расчёт толщин слоёв (случайная погрешность – 0,02 нм) и скорости напыления в реальном времени. Также система поддерживает «прямой» и «непрямой» методы спектрального контроля. В случае «прямого» контроля на подложку, по которой ведётся контроль, в конечном счёте наносятся все необходимые для итогового покрытия слои и оператор может наблюдать его спектр. Недостатком этого метода является существенная зависимость погрешности определения толщин слоёв от спектра напыляемого покрытия. «Непрямой» метод контроля лишён этого недостатка. Используются подложки-свидетели, которые доступны для напыления и спектрального контроля поочерёдно, и на каждую в итоге напыляется только один материал. Получаемые спектры отражения подложек-свидетелей соответствуют слою одного материала и имеют явные минимумы и максимумы в пределах измеряемого диапазона.

Приведён пример изготовленного просветляющего покрытия со средним коэффициентом отражения менее 0,15 % в спектральном диапазоне 400 – 700 нм. В настоящее время система контроля работает в составе напылительной установки в Институте лазерной физики СО РАН.

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

УСТРОЙСТВО ОПРОСА ОДИНОЧНЫХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК

В. А. Симонов, И. Н. Немов, А. Л. Долгушин
Институт автоматики и электротехники СО РАН
Новосибирский государственный университет
ООО «Инверсия-Сенсор»

Волоконные брэгговские решетки (ВБР) представляют собой периодическую модуляцию показателя преломления вдоль оптического волокна. Свет, распространяющийся вдоль волокна, эффективно отражается решеткой в том случае, если отраженные от каждой поверхности возмущения показателя преломления порции складываются в фазе.

В брэгговской решетке изменения длины или температуры преобразуются в изменение длины волны отраженного от ВБР света, что позволяет использовать их в качестве датчиков температуры или деформации. Эти свойства также позволяют создавать перестраиваемые волоконные лазеры на основе ВБР.

Существующие методы опроса ВБР-датчиков основаны на преобразовании изменения длины волны в изменение амплитуды сигнала, либо на непосредственном измерении длины волны при помощи перестраиваемого в широком диапазоне лазера. Оба эти метода имеют свои недостатки. Первый требует высокой мощности сигнала и контроля стабильности мощности, а также не позволяет опрашивать большое количество решеток. Второй метод позволяет опрашивать большое количество датчиков, но при этом имеет высокую стоимость.

В данной работе описывается устройство опроса ВБР-датчиков на основе перестраиваемого в узком диапазоне лазера. Селективным элементом лазера является брэгговская решетка, модулируемая пьезоэлектрическим актюатором (PZT), на который с генератора подается сигнал треугольной формы с частотой 10 Гц и амплитудой 65 В. Диапазон перестройки лазера составляет 3 нм, что достаточно для опроса одного датчика температуры или деформации. Разрешение по длине волны составляет 6 пм. Достигнута точность измерения температуры ~ 4 °С.

1. Jose Mora et al., "Simple high-resolution wavelength monitor based on a fiber Bragg grating", *Applied Optics*, Vol. 43, No. 4, 1 February 2004.

2. J. Roths, C. Sudan, R. Kuttler and C. Gerz, "High Precision, Low-Cost Interrogation System for Fiber Bragg Grating Sensors", *DGAO Proceedings 2005*.

Научный руководитель – И. С. Шелемба.

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЗАДАЮЩЕГО ЛАЗЕРА НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ РАЗРЕШЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОПТОВОЛОКОННОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ КРС

Н. С. Тарасов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

В последние годы оптоволоконные сенсорные системы вызывают огромный интерес, как в научной, так и в прикладной сферах. Это связано, прежде всего, с тем, что волоконные схемы позволяют измерять температуру, давление, деформации и др. параметры среды и внешних воздействий без подключения датчиков к линиям электропередачи.

В данной работе исследуется распределенный температурный датчик основанный на комбинационном рассеянии света (КРС) в волокне из кварцевого стекла. Пространственное разрешение и чувствительность такого датчика напрямую зависит от характеристик используемого импульсного источника лазерного излучения. Основная сложность, с которой сталкиваются исследователи, занимающиеся температурными датчиками на основе КРС – это очень маленькая интенсивность рассеянного света. К примеру, интенсивность анти-стоксовой компоненты обратно рассеянного света, содержащей информацию о температуре в волокне, на 30 dB меньше чем интенсивность рэлеевского сигнала. К сожалению, максимальный уровень мощности лазера ограничен такими нелинейными эффектами, как бриллюэновское рассеяние и вынужденное комбинационное рассеяние света. Также на точность измерения влияют поляризационные эффекты, которые приводят к нерегулярному искажению рефлектограммы.

В ходе данной работы был спроектирован и создан волоконный импульсный эрбиевый лазер с задающим лазерным диодом на длине волны 1530 нм. Этот лазер был оптимизирован для использования в оптоволоконных сенсорах и способен генерировать импульсы длительностью от 60 до 200 нс с пиковой мощностью до 5 Вт. На базе этого лазера сконструирован распределенный оптоволоконный датчик на основе КРС, и исследовано влияние поляризованности излучения на рефлектограммы и, соответственно, на температурное разрешение. Разработанный датчик позволяет измерять температуру на протяжении всей оптоволоконной линии, длина которой может достигать 10 км. Пространственное разрешение такого датчика составляет 10 м, а температурное разрешение – около 2 градусов в диапазоне температур от -20 до 150°C.

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

ТРЕХМЕРНАЯ ТЕОРИЯ МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ ЛОВУШКИ

А. В. Тайченачев, А. А. Тармышова, В. И. Юдин
Институт лазерной физики СО РАН
Новосибирский государственный университет

В рамках квазиклассического подхода в линейном приближении по скорости атомов и магнитному полю на основе градиентных разложений кинетических коэффициентов [1] получены инвариантные аналитические выражения для магнитооптической силы, силы трения и тензора диффузии в импульсном пространстве для перехода $J_g=0 \rightarrow J_e=1$ (Mg, Ca, Sr, Yb). Эти выражения позволяют анализировать кинетику медленных атомов при произвольной пространственной конфигурации светового и магнитного полей.

В качестве примера рассмотрена стандартная конфигурация магнитооптической ловушки, образованной циркулярно поляризованными световыми волнами. Рассчитаны усредненные по пространственному периоду поля кинетические коэффициенты (упругости, трения и диффузии) при произвольных интенсивностях и отстройках светового поля. Обнаружено, что при любой конечной интенсивности все кинетические коэффициенты зависят от фаз интерферирующих волн. В полях умеренной интенсивности наблюдается сильная зависимость, вплоть до смены знака, коэффициентов упругости и трения от фаз. Усредненные по фазам коэффициенты упругости и трения меньше, а коэффициент диффузии больше, чем в одномерной модели, вследствие неоднородности интенсивности поля в трехмерном случае. Этот результат согласуется с результатами работы [2], полученными в рамках теории возмущений по интенсивности поля.

Полученные результаты могут оказаться важными для оптимизации работы магнитооптических ловушек для атомов магния, кальция, стронция, иттербия и других элементов, имеющих дипольный переход $J_g=0 \rightarrow J_e=1$.

1. А. В. Безвербный, О. Н. Прудников, А. В. Тайченачев, А. М. Тумайкин, В. И. Юдин, Сила светового давления, коэффициенты трения и диффузии для атомов в резонансном неоднородно поляризованном поле, ЖЭТФ, том 123, вып. 3 (2003).

2. Sang-Kyung Choi, Sang Eon Park, Jingbiao Chen, V.G. Minogin, Three-dimensional analysis of the magneto-optical trap for (1+3)-level atoms, Phys. Rev. A77, 015405 (2008).

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

РАСЧЁТЫ СВОЙСТВ РЭЛЕЕВСКОГО СИГНАЛА И ВИДНОСТИ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ОПТОВОЛОКОННОМ ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОМ РЕФЛЕКТОМЕТРЕ

О. Тозони

Институт автоматизи и электрометрии СО РАН

Основы и применения волоконной рефлектометрии, т.е. наблюдение временного сигнала рэлеевского рассеяния назад, вызывают интерес уже больше тридцати лет. Несмотря на слабость этого излучения (на четыре порядка слабее, чем входное), его можно наблюдать при достаточно больших входных мощностях. В импульсном режиме с когерентным задающим лазером рэлеевский сигнал представляет собой интерференционную картину, которую можно использовать для сенсорных применений. В самом деле, малейшее внешнее воздействие на волокно может привести к сильному фазовому возмущению сигнала, и, следовательно, к заметному изменению интерференционной картины.

Наиболее плодотворным подходом для понимания свойств рефлектограмм является статистическое представление рассеивателей, которые нельзя рассматривать в отдельности. Данная работа посвящена теоретическому описанию рефлектограмм: изучались, с одной стороны, свойства рэлеевского сигнала в зависимости от параметров, и, с другой стороны, условия видности изменения интерференционной картины за счёт внешнего воздействия. В частности описана зависимость наблюдаемой изрезанности от ширины спектра и полосы фотоприёмника $1/T_{\text{int}}$: она спадает как $1/(T_{\text{int}}\Delta\omega)^{1/2}$ для больших значений $T_{\text{int}}\Delta\omega$.

Разница двух последовательных интерферограмм, одна из которых получена из возмущённого волокна, имеет два вклада: полезный, который является следствием фазового сдвига, и шумовой, который происходит из фазового набега задающего лазера (его конечной ширины спектра). Здесь речь не идёт об электрических шумах, неизбежно возникающих при любом измерении осциллографом, и которые добавляются к этим фазовым шумам. Совпадение модели с численными проверками оказалось хорошим. Возмущение видно по рефлектограмме, если $\Delta t \cdot \Delta\omega$ намного меньше единицы.

Итак, для получения используемой рефлектограммы нужен мощный и когерентный лазер, быстрый фотоприёмник и короткие импульсы.

Научные руководители - д-р физ.-мат. наук С. А. Бабин, д-р физ.-мат. наук Е. В. Подивилов.

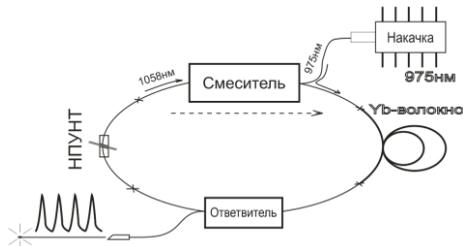
ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР С СИНХРОНИЗАЦИЕЙ МОД НА ОСНОВЕ НАСЫЩАЮЩЕГОСЯ ПОГЛОТИТЕЛЯ С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Ю. С. Федотов

Новосибирский государственный университет

Волоконные лазеры с синхронизацией мод (СМ) генерируют сверхкороткие световые импульсы и представляют значительный интерес для научных исследований и технологических применений. Наиболее практичный и надёжный способ запуска и стабилизации режима СМ волоконных лазеров - применение специальных внутрирезонаторных оптических элементов - насыщающихся поглотителей (НП). Недостатками широко используемых для этой цели полупроводниковых НП являются высокая стоимость и склонность к повреждению под действием высокой оптической мощности в процессе установления режима СМ в волоконных лазерах. Физико-химические и оптические свойства одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) [1] делают их подходящей альтернативой полупроводникам в качестве основы материала для НП волоконных лазеров [2].

В настоящей работе реализована технология получения плёнок из поливинилового спирта, содержащих ОУНТ с регулируемой объёмной концентрацией и высокой степенью однородности. На их основе изготовлены НП, пригодные для получения генерации в режиме СМ волоконных лазеров вблизи длины волны 1 мкм. Разработан и реализован Yb-волоконный генератор сверхкоротких импульсов, схема которого представлена на рисунке.



Параметры генерации лазера: вблизи длины волны 1058 нм на частоте следования 125 МГц средняя выходная мощность составляет 10 мW при пикосекундной длительности импульсов.

1. Y.C. Chen, N.R. Raravikar, L.S. Schadler et al. Appl. Phys. Lett. 81, 975 (2002).
2. G. Rozhin, V. Scardaci, F. Wang, F. Hennrich, I. H. White, W. I. Milne, and A. C. Ferrari Phys. Stat. Sol. (b) 243, No. 13, 3551–3555 (2006)

Научный руководитель – С. В. Кукарин.

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ХОЛОДНЫХ РИДБЕРГОВСКИХ АТОМОВ РУБИДИЯ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ДИПОЛЬ-ДИПОЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Е. А. Якшина

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

Диполь-дипольное взаимодействие высоковозбужденных (ридберговских) атомов представляет интерес для экспериментальной реализации перепутанных состояний нейтральных атомов. Локализация лазерного возбуждения ридберговских атомов в малом объеме позволяет наблюдать диполь-дипольное взаимодействие одиночных атомов.

Целью нашей работы было экспериментальное исследование и теоретическое моделирование динамики лазерного возбуждения холодных ридберговских атомов рубидия в малом объеме внутри магнито-оптической ловушки и оптимизация системы лазерного возбуждения для спектроскопического исследования диполь-дипольного взаимодействия с высоким разрешением.

Моделирование динамики возбуждения ридберговских атомов рубидия излучением импульсных лазеров проводилось путем решения системы кинетических уравнений для населенностей низковозбужденных и ридберговских состояний, что позволило учесть влияние насыщения переходов на геометрические размеры области возбуждения. Были исследованы зависимости населенностей состояний от времени и найдены оптимальные интервалы между лазерными импульсами.

Для минимизации объема возбуждения лазерные пучки фокусировались в облако холодных атомов перпендикулярно друг другу. Мы разработали метод измерения эффективного объема возбуждения по сигналу ионизации ридберговских атомов при пространственном сканировании одного из лазерных пучков. Сравнение результатов теоретических расчетов с экспериментальными данными позволило определить величину взаимного смещения перетяжек лазерных пучков, связанного с техническими особенностями экспериментальной установки. Определен предельный эффективный объем возбуждения, который может быть достигнут в наших экспериментальных условиях.

1. Д. Б. Третьяков, И. И. Бетеров, В. М. Энтин, И. И. Рябцев, П. Л. Чаповский, Е. А. Якшина, Спектроскопия холодных ридберговских атомов рубидия в магнитооптической ловушке, Вестник Поморского университета (труды ФАС), 4, 93 (2009).

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

РАДИОФИЗИКА

СТЕНД 10кВТ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ И НАСТРОЙКИ СЕКЦИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ТРАНСФОРМАТОРА КУЛЕРА

И. И. Авдеев

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

В данном докладе описывается устройство стенда для испытания и настройки секций высоковольтного трансформатора установки электронного охлаждения ионного пучка. Стенд представляет собой управляемый генератор синусоидальных сигналов в диапазоне частот 10..30кГц, напряжений 30..600В и выходной мощностью до 10 кВт. Имеется возможность измерения характеристик выходного сигнала в реальном времени. Стенд состоит из цифровой схемы управления и силовой части. Схема управления собрана на основе ПЛИС Altera MAX II и подключается к ПК по интерфейсу USB, реализованному через RS232-USB преобразователь FT232R. Силовая часть состоит из чоппера на IGBT-ключе для регулировки напряжения, моста на IGBT-транзисторах с фильтром для формирования синусоидального сигнала, подаваемого на нагрузку. Устройство выполнено в виде модуля конструктива «Вишня» шириной 480мм. Чоппер и мост управляются соответствующими ШИМ-сигналами, поступающими из ПЛИС схемы управления. Для измерения характеристик сигнала выход силовой схемы через делитель напряжения и датчик тока подключается к двум 18-разрядным АЦП, данные с которых передаются в ПЛИС для дальнейшей передачи в ПК для обработки. Управление генератором и анализ полученных данных проводится на персональном компьютере при помощи специальной программы.

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

ЭФФЕКТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, НАБЛЮДАЕМЫЙ В СИГНАЛАХ АТМОСФЕРИКОВ

В. В. Аргунов

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

Якутский государственный университет им. М. К. Аммосова

Проведен анализ вариаций очень низкочастотных (ОНЧ) сигналов грозовой природы на трассах, проходящих над очагами землетрясений. В данных сигналах эффект землетрясений с магнитудой более 5 проявляется в виде усиления амплитуды в день и в несколько последующих дней после события. За несколько дней до землетрясения наблюдаются вариации амплитуды грозовых сигналов, как правило, в виде возрастания амплитуды, которые могут рассматриваться в качестве предвестников.

В представленном исследовании проведены результаты исследований для подтверждения связи полученных эффектов с землетрясением. Для чего проведен анализ амплитудных вариаций регистрируемых в Якутске ($\varphi=62^\circ$ N, $\lambda=129^\circ$ E) импульсных грозовых ОНЧ-сигналов с трассами, проходящими над очагами землетрясений и над виртуальными очагами располагающимися ближе и в стороне от трассы. На трассах вне основного азимута направления на землетрясения эффект должен отсутствовать. Во втором случае рассматриваемый виртуальный источник землетрясения выбирался таким образом, чтобы зоны Френеля рассматриваемых трасс не пересекались.

Проведенный анализ амплитудных вариаций импульсных ОНЧ-сигналов грозовой природы, полученных с разных азимутов относительно направления на землетрясение подтвердил связь указанных эффектов с землетрясениями.

Работа поддержана грантами РФФИ 09-02-00348-а, 09-05-98540-р_восток_а и программами Президиума РАН 16, ФАНИ г.к. 02.740.11.0248 и РНП 2.1.1/2555.

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

СОБСТВЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ С ПОПЕРЕЧНО- НЕОДНОРОДНЫМ БИИЗОТРОПНЫМ И ГИРОТРОПНЫМ ЗАПОЛНЕНИЕМ

А. К. Башлыков

Томский государственный университет

Существующие аналитические методы исследования волн в прямоугольном волноводе с различным типом заполнения являются несовершенными и приближенными. Поэтому построение теории собственных электромагнитных волн в частично-заполненном прямоугольном волноводе, а также ее программная реализация является актуальной задачей физики устройств СВЧ.

Методом решения поставленной задачи является метод собственных волн. Этот метод относится к проекционным методам и заключается в том, что составляющие электромагнитного поля в заполненном волноводе представляются в виде суперпозиции составляющих поля в пустом волноводе. Основной проблемой применения этого метода является составление базиса, по которому идет разложение. Собственные волны регулярных волноводов представляют собой полную систему векторных функций. Но этот базис справедлив только для свободного пространства и для диэлектриков. Для описания волн, распространяющихся в средах, изменяющих плоскость поляризации, необходима модернизация базиса.

Новизной подхода к формированию базиса является его расширение следующим образом. В рассматриваемой системе присутствуют волны, распространяющиеся не только в волноводе $a-b$, но и в волноводе $b-a$. Полученный базис увеличится в два раза по сравнению с базисом свободного волновода.

Такое представление волнового процесса позволяет рассмотреть изменение постоянной распространения каждой волны, входящей в базис и провести анализ влияния среды на волновой процесс.

В работе рассмотрен такой способ модернизации базиса и приведена программная реализация, реализующая численное решение задачи моделирования распространения электромагнитных волн в частично-заполненном прямоугольном волноводе.

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

РАЗРАБОТКА МОДУЛЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ И ЗАЩИТЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДИПОЛЬНЫХ МАГНИТОВ СИНХРОТРОНА

Р. В. Вахрушев

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

В настоящее время в Институте ядерной физики СО РАН разрабатывается прототип источника питания дипольных магнитов бустерного синхротрона. Быстроциклический 10 Гц бустерный синхротрон используется как промежуточная ступень ускорения между инжектором и основным кольцом синхротрона. Магнитная система бустера состоит из 6-ти одинаковых 60 ° поворотных магнитов. Для питания магнитов была выбрана резонансная схема, включающая в себя комбинацию трансформаторной схемы питания переменной составляющей тока и дополнительного источника постоянного тока.

Данная работа посвящена разработке модулей измерений и защиты системы управления источника переменной составляющей тока. Измерительные модули предназначены для измерения входных и выходных параметров: напряжения, тока, внутренних температур. Обработанные сигналы поступают в системы контроля и защиты источника питания, и через внешний интерфейс передаются на управляющий компьютер.

Система защиты состоит из двух 16-ти канальных модулей: модуль общих блокировок и модуль защиты силового регулятора тока. Модули защиты принимают сигналы датчиков и при необходимости формируют сигнал блокировки силовой схемы. Внутренняя логика схем модулей базируется на ПЛИС ALTERA. Состояния всех каналов отображаются на передних панелях, а также через внешний интерфейс передаются на управляющий компьютер.

К настоящему моменту разработаны схемы и изготовлены все модули. Написано программное обеспечение ПЛИС ALTERA и проводится настройка модулей в составе системы управления.

Научный руководитель – К. М. Горчаков.

ГЕТЕРОДИННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А. В. Гапченко

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

Представленная работа выполняется на установке ЭЛМИ ИЯФ СО РАН. ЭЛМИ является планарным лазером на свободных электронах с генерацией излучения в узкой полосе частот вблизи 75 ГГц. Для анализа генерируемого излучения целесообразно использовать гетеродинную схему, в которой на один вход смесителя подается сигнал с опорного перестраиваемого СВЧ-генератора. Анализируемый сигнал подается на другой вход. На выходе смесителя образуется сигнал с частотой, равной разности частот на входах, предназначенный для анализа. Полоса пропускания анализирующего прибора, составляет 4 ГГц.

Работа посвящена созданию гетеродинной системы анализа сигнала с полосой пропускания 4 ГГц. Требуется создание интерфейса удаленного контроля новой анализирующей аппаратуры, а также создание фильтра низких частот с полосой пропускания 4 ГГц со следующими требованиями: неоднородность АЧХ в полосе пропускания 0,3 дБ, отсечка по уровню 20 дБ в диапазоне с 4 до 10 ГГц. Интерфейс удаленного доступа должен обеспечивать контроль над регистрирующей аппаратурой и опорным генератором.

Представлен разработанный вариант топологии фильтра на шпилечных резонаторах, промоделированный в программе HFSS (Ansoft). Схема на шпилечных резонаторах обладает лучшими амплитудно-частотными характеристиками и меньшими размерами, чем схема, основанная на переходе от фильтра-прототипа на сосредоточенных элементах к распределенным элементам. Дистанционное управление реализовано через Ethernet с использованием программирования на Labview. Дополнительно в уже существовавшую программу анализа данных, написанную на языке MATLAB, добавлена часть для работы с Ethernet.

1. Jia-Sheng Hong, M. J. Lancaster, Microstrip Filters for RF/Microwave Applications, A Wiley-Interscience Publication (2001).

Научный руководитель – П. В. Калинин.

ПРИЦЕЛ-ДАЛЬНОМЕР С АВТОМАТИЧЕСКИМ ВВОДОМ ПОПРАВОК В ПРИЦЕЛЬНЫЙ ЗНАК

А. А. Голицын

Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники
Новосибирский государственный технический университет

Дальность до цели является одним из важнейших параметров подлежащих определению при решении задачи прицеливания. Поэтому быстрое и точное определение дальности до цели во многом определяет эффективность стрельбы из любого вида оружия.

В настоящей работе ставилась задача по разработке автоматизированного прицела-дальномера для снайперских винтовок ВСК-94 и ВСС, обеспечивающего точное измерение дальности до цели, автоматическое вычисление и индикацию положения прицельного знака с учетом дальности, типа боеприпаса, угла завала оружия, температуры, атмосферного давления и скорости ветра. При этом необходимо было обеспечить жесткие требования, предъявляемые к габаритам, массе, балансировке изделия, а также удобству работы и наблюдения.

Макет прицела был реализован на базе телевизионной камеры, микромонитора и полупроводникового лазерного дальномера. Изображение с ТВ-камеры в цифровом виде поступает на блок обработки изображения прицела. В этом блоке происходит «склеивание» полученного изображения с изображением прицельной марки и служебной информации. Положение прицельной марки относительно изображения камеры, автоматически рассчитывается при измерении дальности до цели.

Разработанный экспериментальный макет прицела-дальномера обладает массой 1.3 кг, не ухудшающей точность стрельбы, полным набором функций по автоматическому измерению дальности, решению баллистической задачи и с учетом условий стрельбы и метеоусловий.

Время определения дальности до цели и расчета поправок для прицельного знака составляет не более 1 с, что позволяет оперативно выбирать цели, находящиеся на разном расстоянии, и производить по ним выстрелы.

Высокая чувствительность используемой ТВ камеры позволяет применять прицел, как в дневных, так и в ночных условиях с освещенностью до 10^{-2} лк (чувствительность, обеспечиваемая современными приборами ночного видения).

Научный руководитель – Ю. Л. Кравченко.

РАЗРАБОТКА ПРЕЦИЗИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ С ЧАСТОТОЙ ИЗМЕРЕНИЙ 1КГц

А. Б. Groшев

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

В настоящее время в ИЯФ разрабатывается система электронного охлаждения для ускорителя COSY. Неотъемлемой частью данного устройства являются ускоряющая и замедляющая колонны, используемые для разгона и замедления электронов. Колонны состоят из большого количества независимых секций, управляемых микропроцессором. В каждой секции требуется измерение напряжения с точностью не менее 10ppm и частотой измерений не менее 1 кГц.

В процессе наладки ускорительных секций потребуется возможность независимо измерять напряжение с нужной точностью и частотой. Поэтому мной разрабатывается прецизионный измеритель аналоговых сигналов с частотой измерений не менее 1кГц. Его основа – микросхема АЦП ADS-1256 (21 разряд на 1кГц). Устройство имеет набор универсальных интерфейсов, таких как RS-232, RS-485, CANBUS и оптолиния, поэтому его будет удобно использовать для решения широкого спектра задач. Реализация данных интерфейсов, а также управление микросхемой АЦП, производится с использованием микроконтроллера TMS320F2808.

Планируется использовать данное устройство в процессе наладки ускорительных секций, а также для независимых измерений параметров системы.

-
1. Документации по программированию процессора TMS320F2808
 2. Документация по использованию микросхемы ADS-1256.
 3. Документации по использованию оптодрайверов HFBR-2524 и HFBR-1524.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ ЦИФРОВОЙ МАНИПУЛЯТОР

Е. А. Гуреева

Филиал «Взлёт» Московского авиационного института

В состав передающих устройств входит цифровой манипулятор, принципиальная схема которого приведена на рис. 1. В филиале «Взлёт» МАИ на базе вычислительного центра были проведены исследования параметров и характеристик манипулятора с использованием программы электронного моделирования Electronics Workbench.

Целями эксперимента являются: исследование амплитудно-частотных (АЧХ) и фазо-частотных (ФЧХ) характеристик фазового манипулятора (ФМ); исследование прохождения сигналов через ФМ во временной и спектральной области.

В результате эксперимента получены следующие данные:

Вывод: использование электронного моделирования представляет собой наиболее экономичный вид экспериментирования.

1. Эксперимент на базе ПК позволил определить основные характеристики и параметры разработанного ФМ.

Разность фаз составляет 180° .

Анализ прохождения сигналов через ФМ во временной области показал наличие переходных процессов в

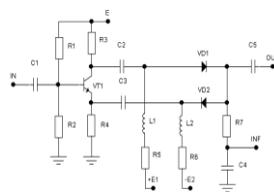


Рис. 1. Принципиальная схема ФМ

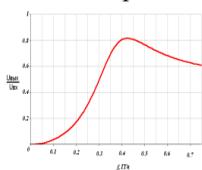


Рис. 2. АЧХ ФМ при передаче «1»

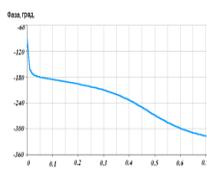


Рис. 3. ФЧХ ФМ при передаче «1»

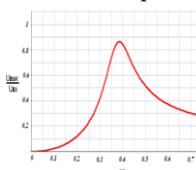


Рис. 4. АЧХ ФМ при передаче «0»

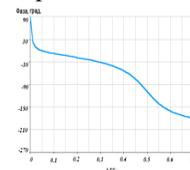


Рис.5. ФЧХ ФМ при передаче «0»

Параметр	передача «1»	передача «0»
Коэффициент усиления ($f = 400$ МГц), раз	0.808	0.843
Нелинейность АЧХ ($\Delta F = 4$ МГц), дБ	0.032	0.123
Фазовый сдвиг ($f = 400$ МГц), град	- 233.3	- 53.3
Изменение ϕ ($\Delta F = 4$ МГц), град	1.5	1.4

выходном сигнале в момент переключения, равные 4% от длительности символа.

Научный руководитель работы - канд. техн. наук И. И. Романов

ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ РАДИОФИЗИЧЕСКИМ И СУХО-ВЕСОВЫМ МЕТОДАМИ

Е.В. Емельянов

Томский государственный университет

Измерение влажности материалов необходимо для оптимизации технологических процессов и контроля качества конечного продукта.

Среди принятых в настоящее время методов контроля влажности выделяют радиофизические методы: кондуктометрические, емкостные, волноводные, резонаторные. К достоинствам радиофизических относятся: высокая чувствительность, быстродействие, выдача информации в цифровом виде, что позволяет легко автоматизировать процесс сбора и обработки данных. Для исследования листовых материалов более предпочтительно использовать открытые резонаторы (ОР), которые хорошо зарекомендовали себя для исследования качества изготовления толщины и однородности полиэтиленовой пленки.

Открытый резонатор (квазиоптический преобразователь) является удобным для исследования листовых материалов благодаря свободному доступу к рабочему объему резонатора, возможности изучения характеристик образцов различных размеров, возможности исследования, как интегральных характеристик, так и отдельные области образца. Квазиоптический преобразователь позволяет наиболее простым способом обеспечить бесконтактный неразрушающий метод.

Известно, что диэлектрическая проницаемость (ДП) многих влажных материалов определяется количеством воды. Однако теория композиционных смесей убедительно доказывает, что величина ДП определяется не только количеством, но и формой включения (шары, кубы, диски, длинные нити) и видом композита (статистические смеси, метрические структуры, взаимопроникающие компоненты). Это многообразие форм и структур описывается различными формулами и может дать существенные отличия значений ДП при одной и той же концентрации воды.

В связи с этим приходится прибегать к калибровке радиофизических методов, используя сухо-весовой метод. Обычно происходит раздельное измерение влажности двумя методами: сначала измеряется вес, затем электродинамические характеристики ОР. Перенос образца с одной установки на другую требует времени и при этом возможна потеря влаги, которая может сыграть ключевую роль в оценке качества продукции.

В данной работе предлагается комбинированный метод измерения влажности, сочетающий радиофизический и сухо-весовой методы.

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

АДАПТИВНЫЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР

А. А. Иванова, С. В. Иваненко, Е. А. Пурыга
Новосибирский государственный технический университет
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

На сегодняшний день гамма-спектроскопия нашла широкое применение в научно-исследовательских и прикладных задачах, таких как наблюдение динамики миграции примесей в плазме, контроль паразитного γ -излучения в рамках бор-нейтроннозахватной терапии рака, дистанционное обнаружение взрывчатки в грузовых контейнерах, определение состава пород в геологии и геофизике. Для решения этих задач необходимы γ -спектрометры, обладающие:

- энергетическим разрешением (аппаратным, без учета энергетического разрешения сцинтиллятора) менее 3% в диапазоне энергий 0,01 – 10 МэВ;
- способностью разделения наложенных событий для получения высокой скорости счета ($\sim 10^6$ событий/сек);
- способностью формирования и анализа спектров в режиме реального времени оператора;
- адаптивностью к различным видам сцинтиллятора.

В предположении априори известной формы сигнала детектора метод разбора наложенных событий, реализованный в спектрометре, основан на формировании короткого выходного импульса с амплитудой (площадью) пропорциональной энергии гамма-кванта. Для этого сигнал сцинтилляционного детектора оцифровывается с частотой дискретизации 64 МГц 14-разрядным АЦП, а затем пропускается через цифровой фильтр, формирующий соответствующий отклик. Далее, узлом выделения пиковых значений сигналов и автоинкрементным ЗУ формируется энергетический спектр γ -квантов, который периодически (с частотой 1 Гц) передается через встроенный интерфейс (USB/Ethernet-100) в вычислительную машину для отображения и анализа. Все цифровые узлы рассматриваемого спектрометра реализованы на базе программируемой логической матрицы (FPGA).

В работе приводятся описание функциональной схемы γ -спектрометра и результаты его экспериментальной проверки при работе с детектором на основе сцинтиллятора NaI(Tl).

Научный руководитель – канд. техн. наук А. Д. Хильченко.

РАЗРАБОТКА НОСИТЕЛЯ РМС МОДУЛЕЙ С ИНТЕГРИРОВАННЫМ CAN ИНТЕРФЕЙСОМ

Р. А. Кадыров

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

В ИЯФ СО РАН идут разработки системы управления линейного индукционного ускорителя (ЛИУ). Часть конечного оборудования собирается в CompactPCI крейты, которые комплектуются блоками и модулями, выполненными как в самом стандарте CompactPCI, так и в более компактном исполнении PCI Mezzanine Card (РМС). Если первые из них напрямую подключаются к магистрали крейта, то вторые сначала устанавливаются в CompactPCI носитель, который уже подключается к магистрали крейта. У таких носителей существуют дорогие промышленные аналоги различных производителей.

Связь между крейтами осуществляется по интерфейсу CAN. Для этого в крейте либо в одном из заводских носителей устанавливается промышленный модуль CAN в стандарте РМС, либо задействуется интегрированный в один из разработанных носителей модуль CAN.

Разработанный носитель представляет собой CompactPCI электронный модуль со встроенным CAN интерфейсом и может нести до 2 РМС модулей. В основе работы носителя лежит PCI мост, образующий на устройстве свой сегмент шины PCI на три устройства – два РМС модуля и интегрированный CAN интерфейс. Последний включает в себя 2 CAN порта и гальванически изолирован от шины оптронной развязкой для защиты от скачков напряжения на проводе шины. Для защиты устанавливаемых модулей от короткого замыкания, питание на разъемы РМС подается через самовосстанавливающиеся предохранители. Часть контактов РМС разъемов выведены на CPCI разъемы вдоль задней стороны в соответствии со спецификацией. Они служат для того, чтобы подавать сигналы на входы устанавливаемых РМС модулей и снимать сигналы с их выходов.

В ходе работы над носителем была нарисована схема устройства, подобраны и закуплены необходимые компоненты, разработана и изготовлена печатная плата, собран и отлажен первый образец носителя. На данный момент получен работающий прототип устройства. Для системы управления ЛИУ планируется укомплектовать разработанными носителями 4 крейта по 6 носителей в каждом.

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

ВОЗБУЖДЕНИЕ ЩЕЛЕВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ТУРНИКЕТНОЙ АНТЕННЕ

Д. С. Клыгач

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Цель настоящей работы заключается в решении проблем возбуждения щелевого излучателя оригинальной передающей антенны диапазона частот 470 – 860 МГц, предусмотренного для цифрового телевизионного вещания, обладающей преимуществами по сравнению с известными антеннами в отношении электрических и эксплуатационных характеристик и трудозатрат на их изготовление. На конструкцию антенны автором подана заявка на патент РФ на изобретение №2009133771 от 08.09.2009.

Для расчета диаграмм направленности антенны использовано строгое решение задачи дифракции плоской волны на идеально проводящей полосе и приближённое решение, реализованное путем численного решения уравнений Максвелла в интегральной форме в известной программе CST Studio.

Для обеспечения возможности излучения антенной сигналов большой мощности предложена оригинальная конструкция устройства возбуждения щелевых излучателей. Традиционно щель возбуждается коаксиальным кабелем. При этом внешний проводник кабеля имеет гальванический контакт с пластиной на кромке щели. На некотором расстоянии от конца кабеля внешний проводник разрезается и удаляется. Образуется острый край внешнего проводника. Центральный проводник гальванически соединяется с противоположной кромкой щели. В предложенной автором в соавторстве оригинальной конструкции возбуждающего устройства центральный проводник не имеет гальванического контакта с противоположным краем щели. Исследованы два варианта конструкции возбуждающего устройства: с острыми краями и со скруглёнными краями.

За счёт перехода в конструкции возбуждающего устройства от острых кромок к закруглённым кромкам предельно допустимая мощность излучения щели увеличивается примерно в четыре раза.

В докладе приведены анимационные картины развития структуры электромагнитного поля во времени в ближней зоне, зоне Френеля и зоне Фраунгофера широкополосной щелевой турникетной антенны.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. Н. И. Войтович.

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ И СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СЕПАРАТОРА

Д. С. Козин
ООО «УНИСКАН»

Новосибирский государственный университет

Основой исследования является работа [1], в которой температурный градиент в земной атмосфере объясняется эффектом т.н. волн плавучести. В статье показано, что если рассматривать газ как вязкий и теплопроводный, то волны плавучести работают как тепловой насос, перекачивая тепло от верхних холодных слоёв воздуха к нижним более тёплым слоям, создавая и поддерживая отрицательный градиент температуры в атмосфере.

В настоящее время волны плавучести хорошо известны, эти волны изучаются в океане и атмосфере, теория развита и подтверждается наблюдениями. Но исследования преимущественно проводятся в пренебрежении вязкостью и теплопроводностью среды.

Была поставлена задача создать экспериментальную установку (Центробежный температурный сепаратор) для исследования данного эффекта. Целью этой работы является разработка и изготовление контрольно-измерительного комплекса, который позволит получить значения физических параметров газодинамических процессов в зависимости от времени. На данном этапе центробежный температурный сепаратор представляет из себя полый цилиндр с системой проточных каналов, который вращается вокруг своей оси. Центростремительное ускорение в этом случае играет роль массовой силы, действующей на заключённый внутри цилиндра газ. Ожидается, что внутри замкнутого объёма появится температурное разделение газа.

Работа состояла в разработке блока управления двигателем и автономного блока измерения и записи значений температур и давлений внутри рабочего объема во флэш-память. Основными характеристиками устройства являются: 6 каналов измерения температуры в диапазоне от -200 до 350 °С, 4 канала измерения давления в диапазоне от 5 кПа до 680 кПа, управление частотой вращения двигателя в диапазоне от 0 до 200 Гц. Важной особенностью такого контрольно-измерительного комплекса является то, что он разрабатывается как универсальный «конструктор», состоит из отдельных блоков. Это позволяет использовать устройство для решения других электрофизических задач. Основная особенность работы состояла в том, что блок измерений и записи значений температур и давлений внутри рабочего объема вращается со скоростью до 10 тыс. об/мин.

1. В. И. Меркулов, « Волны плавучести как тепловой насос »

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук С. И. Еременко, А. А. Брызгалов.

ОПИСАНИЕ ВАРИАЦИЙ АМПЛИТУД СИГНАЛОВ РАДИОСТАНЦИЙ (11,9 И 14,88 КГЦ) В ПЕРИОД ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 01.08.2008 г. МОДОВЫМ МЕТОДОМ

А. А. Корсаков

Институт космических исследований и астрономии
им. Ю. Г. Шафера СО РАН, г. Якутск

Методика регистрации и эффекты полного солнечного затмения 1 августа 2008 года в сигналах радиостанций на частоте 11,904 кГц описаны в [1]. В сигналах краснодарской РНС на частоте 14,88 кГц эффект проявился аналогично вариациям амплитуды сигнала 11,904 кГц: увеличение на 1 отн. ед. (10% сут. вариации). Для новосибирской РНС амплитуда сигнала 14,88 кГц уменьшилась на 6 отн. ед. (24% сут. вариации), тогда как на частоте 11,904 кГц наблюдалось её увеличение.

Различия в вариациях амплитуды на разных частотах можно объяснить модовым методом распространения. Пусть $h = 70$ км – высота плоского волновода Земля-ионосфера до начала затмения, $p = 0,5$ – коэффициент отражения электромагнитной волны от ионосферы, а высота и коэффициент отражения в максимум затенения трассы лунной тенью составляют $H = 90$ км и $P = 0,7$. Поле радиостанции $z(t, x)$ в пункте приёма есть суперпозиция нулевой моды и мод более высоких порядков (1):

$$z(t, x) = E_0 \left(\exp(j\omega t - kx) + \sum_{n=1}^m p^n \exp(j\omega t - kl_n) \right) \quad (1)$$

Где $k = 2\pi/\lambda$, а l_n – длина пути моды, номером n . Так в пункте приёма «Якутск» амплитуда сигнала «Новосибирск 14,88 кГц» в момент максимального затенения меньше уровня, соответствующего освещённой трассе. В сигналах «Новосибирск 11,9 кГц», «Краснодар 11,9 кГц» и «Краснодар 14,88 кГц» отмечено увеличение амплитуды.

Результаты моделирования хорошо согласуются с вариациями амплитуд сигналов радиостанций во время затмения, что говорит не просто об уменьшении затухания при распространении радиоволн, а о меняющейся интерференционной картине в волноводе Земля – ионосфера.

Работа поддержана грантами РФФИ 08-02-00348-а, 09-05-98540-р_восток_а и программами Президиума РАН 16, ФАНИ г.к. 02.740.11.0248 и РНП 2.1.1/2555.

1. А. А. Корсаков, Эффекты полного солнечного затмения 1 августа 2008 г. по наблюдениям сигналов радиостанций и ОНЧ радиозащитного фона. МНСК XLVII «Студент и научно-технический прогресс»: Физика / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2009. 274 с. С. 98.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ В СЕВЕРНОЙ АЗИИ

А. Ф. Кривошапкина

Якутский государственный университет им. М. К. Амосова

Институт космофизических исследований и астрономии

им. Ю. Г. Шафера СО РАН, г. Якутск

В Якутске в начале 2009 г. запущен пункт Всемирной сети месторасположения гроз (World Wide Lightning Location Network – WWLLN, эффективность регистрации 10% разрядов), причем для пункта используется аппаратура, созданная в ИКФИА. Это позволило впервые зарегистрировать и проанализировать распределение и динамику гроз на территории Северной Азии (60-170 град. восточной долготы и 40-80 град северной широты) инструментальным методом. При построении карты плотности грозных разрядов учитывалось количество разрядов, зарегистрированных на квадратном километре за период 1.07 - 31.08.2009.

Анализ карты показал наличие двух областей с повышенной плотностью грозных разрядов, широтный и долготный ход: уменьшение грозовой активности с юга на север (25% на 10 град.) и с востока на запад (10% на 10 град.), если исключить две области с повышенной активностью гроз. Один из основных максимумов грозовой активности (в 10-100 раз выше окружающих) приходится на Западно-Сибирскую равнину (45-65 град. с.ш. и 60-87 град. в.д.). Второй очаг такой же мощности тянется по меридиану от южных отрогов Большого и Малого Хингана до севера Станового хребта, по параллели с запада от Большого Хингана до южных отрогов Малого Хингана и Бурецкого хребта на востоке. На востоке и, особенно на северо-востоке регистрировалась существенно меньшая грозовая активность, особенно в морях. Причиной неоднородности является широтная неравномерность прогрева и рельеф местности, определяющие условия возникновения и развития грозных очагов.

Проанализировано распределение плотности разрядов в зависимости от высоты местности над уровнем моря, используя полученную карту и карту рельефа. Выявлено, что с увеличением высоты местности над уровнем моря от 0 м до 200 м наблюдается подъем, с пиком на 200 м (в 4 раза), далее до высот в 2 км стабилизация грозовой активности и с дальнейшим повышении высоты местности до 3 км плавный спад (в 3 раза). На высотах 3-4 км наблюдается минимальная грозовая активность.

Работа поддержана грантами РФФИ 08-02-00348-а, 09-05-98540-р_восток_а и программами Президиума РАН 16 и АВЦП проект № РНП 2.1.1/2555 и ФАНИ г.к.02.740.11.0248.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Р. Р. Каримов.

ПРИМЕНЕНИЕ КВАЗИСТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НМПР ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ С БОЛЬШИМИ ПОТЕРЯМИ В ГИГАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Г. Е. Кулешов

Томский государственный университет

В качестве измерительной ячейки нерегулярные микрополосковые резонаторы (НМПР) [1] достаточно широко применяются в технике СВЧ. Обеспечение широкополосности измерений достигается набором НМПР с различной частотой первой моды, однако более предпочтительно использовать многомодовый режим одного резонатора.

Для расчета комплексной магнитной и диэлектрической проницаемости ($\mu^* = \mu' - i\mu''$ и $\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon''$) используется метод на основе измерений разности резонансных частот и разности максимумов интенсивностей резонансных линий пустого резонатора и нагруженного образцом. При измерениях μ^* материалов с большими потерями на высших модах было обнаружено, что при некоторых сочетаниях магнитной и диэлектрической проницаемостей нечетный пик пропадает на фоне четного и его максимальное значение не просматривается. Метод расчета μ^* и ε^* , хорошо зарекомендовавший себя в случае с явно выраженными модами колебаний, перестает работать в данном случае.

При «слиянии» мод внешний вид получаемых резонансных кривых подобен кривым распределения некоторой случайной величины. Для описания резонансных кривых такого типа и нахождения комплексной магнитной проницаемости нами было предложено использовать метод моментов. Для расчета четырех основных моментов мы воспользовались соответствующими формулами статистической физики.

В результате моделирования и теоретического расчета был сформирован банк данных значений основных четырех моментов для соответствующих электромагнитных параметров. Таким образом, решена прямая задача, необходимая для нахождения μ^* и ε^* материала в случае «слияния» соответствующих мод. Обратная задача – определение значений электромагнитных характеристик по измеренным АЧХ НМПР решается выбором соответствующих значений из сформированного банка данных. Значения электромагнитных параметров, полученные данным методом, были подтверждены экспериментально.

1. О. А. Доценко, В. И. Суляев. Измерение температурных зависимостей спектров магнитной проницаемости гексаферритов нерегулярным микрополосковым резонатором // Изв. вузов. Физ. 2005, № 6, С. 116–117.

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

РЕЖИМЫ РАБОТЫ АВТОГЕНЕРАТОРА С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ КОНТУРОМ ПРИ ЁМКОСТНОЙ СВЯЗИ КОНТУРОВ

И. О. Майборода

Томский государственный университет

В двухконтурном автогенераторе при определённых условиях возможны три режима работы: одночастотных колебаний, гашения колебаний вблизи точки внутреннего резонанса и режим затягивания. Эти явления подробно изучены, но для них не установлены границы областей параметров системы (коэффициент связи контуров K , инкремент контура генератора ε , затухание второго контура d_2), определяющих режимы.

Для нахождения границ, строго говоря, необходимо провести решение нелинейных дифференциальных уравнений движения системы. Однако возникает предположение, а не начало ли движения, когда амплитуды колебаний малы, определяет режимы стационарных колебаний. Для проверки этого предположения проведены решение линеаризованных уравнений и экспериментальное исследование двухконтурного автогенератора. Полученные зависимости собственных частот, затуханий и амплитуд колебаний на этих частотах от расстройки контуров подтвердили справедливость высказанного предположения. Оказалось, что границу между колебательным режимом и режимом гашения определяет параметр d_2 . Граница же между одночастотным и двухчастотным режимами определяется критическим коэффициентом связи $K_{кр}=0,5|\varepsilon+d_2|$ [1]. Это позволяет построить простую диаграмму режимов, на которой по оси ординат отложено d_2 , а по оси абсцисс – K . Линия $d_2 = \varepsilon$ разделяет плоскость на область гашения $d_2 > \varepsilon$ и область колебаний $d_2 < \varepsilon$. Прямая $d_2=0,5K$, идущая из точки $(0,5\varepsilon, 0)$, разделяет плоскость на области одночастотного (слева от неё) и двухчастотного (справа) режимов. Если при этом $d_2 < \varepsilon$, то слева будут существовать колебания на одной частоте, а справа будет иметь место режим затягивания. Если $d_2 = \varepsilon$, то при любом значении $K \geq K_{кр}$ в точке резонанса происходит скачок с одной собственной частоты на другую. Это граничный двухчастотный режим с нулевой шириной области затягивания.

1. А. С. Майдановский. Колебания линейных неконсервативных динамических систем с двумя степенями свободы // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2006. – № 9. – С. 256–264.

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

ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗНОСТИ ПРИХОДА ГРОВОГО РАЗРЯДА НА ПУНКТЫ СИСТЕМЫ ГРОЗОЛАКАЦИИ

А. Ю. Маркова

Якутский государственный университет им. М. К. Аммосова

Институт космофизических исследований и астрономии

им. Ю. Г. Шафера СО РАН, г. Якутск

Для регистрации грозовых разрядов с помощью многопунктовых (двухпунктовых) радиотехнических систем необходимо измерять время прихода радиоимпульса грозового разряда (атмосферика) в пункты наблюдения. Временная синхронизация регистратора, использующего АЦП USB3000, осуществляется с помощью GPS-часов типа (Trimble Thunderstorm), выдающих как секундные импульсы, так и высокостабильный синхронизованный гармонический сигнал 10 МГц, преобразованный в последовательность тактовых импульсов частотой 2,5 МГц для АЦП с внешним тактовым генератором. Время прихода радиоимпульсов в пункты наблюдения определяется путем измерения запаздывания между нулевыми переходами первого квазиполупериода принимаемых сигналов превосходящего уровень 0,1 амплитуды атмосферика относительно синхронизованных тактовых сигналов. Для измерения времени запаздывания начала первого квазиполупериода сигнала относительно синхронизованного тактового импульса производят измерения напряжений разной полярности – до и после нулевого перехода. По полученным значениям пар напряжений разной полярности определяют временной сдвиг.

Средняя частота принимаемых квазиполупериодов сигналов атмосфериков, образованных разрядами «облако-земля» составляет 5–12 кГц. Амплитуда сигналов меняется пропорционально расстоянию до грозового разряда и задается необходимым диапазоном расстояний 40 раз, например 75–3000 км.

Проведенный анализ точности определения разности прихода грозового разряда при использовании 14-ти разрядного АЦП с частотой дискретизации 2,5 МГц показал, что точность ухудшается с уменьшением амплитуды и уменьшением частоты квазиполупериода атмосферика. При амплитуде соответствующей полному диапазону АЦП точность достигает десятков наносекунд и экспоненциально падает до значений 30 нсек при 12 кГц и 210 нсек при 5 кГц, при амплитуде, соответствующей 0,025 диапазона АЦП.

Работа поддержана грантами РФФИ 08-02-00348-а, 09-05-98540-р_восток а и программы Президиума РАН 16, ФАНИ г.к. 02.740.11.0248 и РНП 2.1.1/2555.

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

ИЗМЕРЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ЖИДКОСТЕЙ И ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 10^2 – 10^9 ГЦ

С. В. Ошкукова

Омский государственный педагогический университет

Результаты измерений комплексной диэлектрической проницаемости в широком интервале частот имеют большое теоретическое и практическое значение. Они помогают понять особенности молекулярного строения вещества, особенности взаимодействия разных фаз в дисперсных системах. Диэлектрические свойства почв требуются в задачах дистанционного зондирования Земли из космоса [1], а свойства нефтенасыщенных пород необходимы для обоснования эффективных способов интерпретации результатов диэлектрического каротажа [2].

При измерении диэлектрической проницаемости в широком диапазоне частот возникает ряд проблем, часть которых до сих пор не решена. Это проблемы создания широкополосных измерительных ячеек, это и проблемы электродной поляризации, искажающей результаты измерения на низких частотах.

В работе приводятся результаты измерений диэлектрической проницаемости и проводимости некоторых жидкостей (дизельное топливо, нефть, дихлорэтан и др.), дисперсных и коллоидно-дисперсных систем, таких как влажные почвы с высоким содержанием гумуса, смеси бентонитовой глины с соевым раствором и нефтью. Показано, что лишь небольшие изменения в составе дисперсной системы приводят к большим изменениям в значениях диэлектрической проницаемости вызванным межповерхностной поляризацией. Частотную зависимость комплексной диэлектрической проницаемости в некоторых случаях удается описать уравнением Коула-Коула, учитывающим распределение времен релаксации. Для учета электродной поляризации измерения на низких частотах производились при разных расстояниях между электродами.

1. Бобров П. П., Миронов В. Л., Ивченко О. А., Красноухова В. Н. Спектроскопическая модель диэлектрической проницаемости почв, использующая стандартизованные агрофизические показатели // Исследование Земли из космоса. 2008. № 1. С. 15-23.

2. Эпов М. И., Миронов В. Л., Бобров П. П., Савин И. В., Репин А. В. Исследование диэлектрической проницаемости нефтесодержащих пород в диапазоне частот 0,05–16 ГГц // Геология и геофизика, 2009 т. 50. № 5. С. 613-618.

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

МОДУЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИНТЕГРАЛА ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

А. В. Павленко

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

Заметная часть электрофизического оборудования экспериментальных установок работает в импульсном режиме. Преобладающим в общем объеме типом измерений в импульсных системах являются измерения, выполняемые в строго определенном момент времени, задаваемый рабочим циклом установки. Зачастую измеряемые сигналы оказываются пропорциональны производной от интересующей физической величины, например сигнал индукционного датчика, измеряющего поле магнитного элемента ускорительно – накопительного комплекса.

В ИЯФ основным средством измерения импульсных магнитных полей длительное время являлся КАМАК-модуль БИИП-4, использующий метод двухтактного интегрирования. Аппаратная реализация указанного метода опирается на классическую схему интегратора с использованием операционного усилителя. Цифровое значение интеграла получается измерением времени разрядки интегрирующей емкости током, величина которого известна с высокой степенью точности.

В представленной работе описан отличный от указанного метод получения интеграла входного сигнала. Основывается метод на суммировании цифровых отсчетов высокоразрядного АЦП. Интервал интегрирования задается быстродействующим ключом и может быть привязан к конкретной фазе работы установки. Сформированный ключом сигнал, прежде чем подвергнуться преобразованию в цифровой код, проходит через фильтр нижних частот. Фильтрация сохраняет интеграл сигнала, увеличивая его протяженность во времени, что снижает требования к частоте дискретизации АЦП. В работе рассматривается влияние на точность интегрирования эффекта перекрытия спектров, возникающего при аналого-цифровом преобразовании. Изучена зависимость шума результирующего интеграла от времени интегрирования и характеристик приводимого на вход шумового сигнала.

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

РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ ВКЛЮЧЕНИЯ МНОГООБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ СО СЛАБОЙ СВЯЗЬЮ МЕЖДУ ОБМОТКАМИ

К. А. Пирогов

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

При проектировании трансформаторов питания для некоторых электрофизических установок в силу ряда требований, предъявляемых к ним, конструктивно не удастся получить хорошую связь между обмотками. В случае, когда трансформатор к тому же имеет несколько первичных и несколько вторичных обмоток, расчет параметров этих обмоток и анализ работы трансформатора становится возможным лишь с помощью численного моделирования на ЭВМ.

В большинстве случаев задача анализа электрических цепей, состоящих из большого количества элементов, успешно решается с помощью специализированного ПО (пакеты программ OrCAD, MicroCAP и т. д.), позволяющего промоделировать работу заданной цепи. Однако применение подобных программ для анализа работы многообмоточных трансформаторов со слабой связью между обмотками затруднено, так как построение эквивалентной схемы этих трансформаторов само по себе является сложной задачей. В то же время основная задача разработчика рассчитать параметры трансформатора таким образом, чтобы он удовлетворял предъявленным требованиям, другими словами, решить задачу синтеза электрической цепи.

В данной работе предложена методика с применением программы MathCAD, позволяющая облегчить задачу нахождения оптимальных параметров трансформатора и анализа его работы, не прибегая к составлению его эквивалентной схемы. Расчет произведен на примере трансформатора с 11 вторичными обмотками.

Научный руководитель – И. А. Гусев.

РАЗРАБОТКА ВНЕШНЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ВПУСКНЫХ И ВЫПУСКНЫХ СЕПТУМ МАГНИТОВ

Е. А. Ромаметьева

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

В настоящее время в Институте ядерной физики СО РАН идет разработка прототипа протонно-углеродного комплекса для терапии рака. Комплекс включает источник протонов (или ионов углерода), бустерный синхротрон и основной синхротрон.

Данная работа посвящена разработке внешней обратной связи для источника питания впускных и выпускных септум магнитов основного синхротрона. Магнитное поле в септум магнитах должно обеспечиваться с точностью порядка 10^{-4} . Для питания септум магнитов было решено использовать коммерчески доступный источник тока типа Genesys (10 В, 1 кА). Однако точность регулировки тока и долговременная стабильность для данного источника не превышают 10^{-2} . Для обеспечения необходимой точности применена внешняя обратная связь с независимым каналом измерения тока. Петлевой коэффициент усиления цепи обратной связи более 50dB и высокая точность измерения тока (10^{-5}) позволяют обеспечить точность регулировки тока в канале питания септум магнитов не хуже $2 \cdot 10^{-4}$.

На сегодняшний день проведены разработка обратной связи и конструирование платы частотной коррекции, а также проведены испытания источника тока с макетом электроники обратной связи.

Научный руководитель – А. И. Ерохин.

РАЗРАБОТКА СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО ДИПЛЕКСЕРА

Ю. В. Сокольницкая

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского
Центральное конструкторское бюро автоматики, г. Омск

Омское Центральное конструкторское бюро автоматики (ЦКБА) специализируется на выпуске микроэлектронных устройствах диапазона высоких и сверхвысоких частот.

Одним из основных функциональных элементов разрабатываемой и выпускаемой в ЦКБА современной радиотехнической аппаратуры являются частотные фильтры (ЧФ). ЧФ используются в приемных устройствах для подавления мешающих сигналов, частоты которых лежат вне рабочей полосы приемника, подавления гармоник излучения мощных передатчиков, разделения сигналов с различными частотами в схемах диплексера, умножителей, преобразователей и т. п.

В данной работе для разработки сверхширокополосного диплексера необходимо было рассчитать фильтр верхних частот (ФВЧ) 5-го порядка и фильтр нижних частот (ФНЧ) 9-го порядка.

Техническое задание:

1. Пересечение АЧХ (амплитудно-частотная характеристика) ФВЧ и ФНЧ не выше уровня -8 дБ,
2. КСВН (коэффициент стоячей волны по напряжению) для ФНЧ в полосе пропускания (0,03–0,07 ГГц) и ФВЧ в полосе пропускания (0,09–1,8 ГГц) не более 2,5.

В итоге, в ходе проведенной работы были разработаны схема и конструкция диплексера, состоящего из ФВЧ (5-го порядка) и ФНЧ (9-го порядка), а так же выполнен макет диплексера. Данный макет удовлетворяет указанному выше техническому заданию, то есть пересечение АЧХ ФВЧ и ФНЧ не выше уровня -8 дБ, КСВН для ФНЧ в полосе пропускания (0,03–0,07 ГГц) и ФВЧ в полосе пропускания (0,09–1,8 ГГц) не более 2,5.

Научный руководитель – А. А. Серебrenников.

ОБНАРУЖЕНИЕ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ВИТКОВ В ПРОЦЕССЕ НАМОТКИ КАТУШЕК ИЗ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПРОВОДА

А. С. Сосков

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

В институте ядерной физики одним из направлений работы лаборатории 8-2 является намотка катушек для сверхпроводящих магнитов, которые используются для виглеров, в соленоидах и др. В процессе намотки часто случается короткое замыкание витка, и катушка становится непригодна для применения. Эта проблема значительно замедляет намотку, по ее причине расходуется много дорогостоящего материала (провода). Решение этой проблемы является очень важной и актуальной задачей, имеющей практическое применение.

А задача такова: создание системы своевременного обнаружения короткозамкнутого витка в процессе намотки. Система обнаружения короткозамкнутых витков основана на постоянном измерении сопротивления всей системы намотки, замыкание одного витка приводит к уменьшению сопротивления, что соответственно отражается на показаниях датчиков. Решение задачи усложняется тем, что катушка может содержать от 60 до 6000 витков, чтобы «увидеть» замкнутый виток требуется высокая точность системы обнаружения. Многочисленные шумы – сетевые наводки, внешние наводки от контактов измерительных датчиков, нестабильность источника напряжения, температурный дрейф не позволяют так просто зафиксировать наличие замкнутого витка.

Для обработки данных измерительных датчиков используется точные многоканальные АЦП с возможность одновременно измерять ток и напряжение, для управления АЦП написана программа в среде программирования LabWidows, для устранения шумов спроектированы аналоговые фильтры низких частот (Баттерворта 6-го порядка, Чебышева 4-го порядка). Производятся тестирования пробной системы с различными АЦП, возможно для улучшения точности будут применяться программные фильтры.

-
1. Хоровиц, Хилл, «Искусство схемотехники»
 2. www.ni.com

Научный руководитель – канд. техн. наук В. А. Шкаруба, А. А. Волков.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА УСКОРИТЕЛЯ ПРОТОНОВ

А. С. Стюф

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

Разрабатываемая в ИЯФ система измерения положения пучка протонного ускорителя включает в себя электростатические четырехэлектродные пикапы и электронику на основе FPGA. Электроника должна обеспечивать измерения положения пучка, как при фиксированной энергии пучка, так и во время цикла ускорения, которое может занимать от 50 мс до 1 сек. Результаты измерения положения пучка каждые 200-500 мкс отдаются в ВЧ систему и используются последней для правильной перестройки частоты в процессе ускорения. Помимо этого электроника должна обеспечивать измерения положения каждого сгустка протонов за каждый оборот, что важно для процесса наладки ускорителя. Сложностью измерения положения отдельных пучков протонов за каждый оборот является изменение частоты обращения во время цикла ускорения. Электроника системы измерения положения пучка состоит из головной аналоговой части, располагаемой рядом с пикапом, цифровой схемы обработки сигналов и Ethernet-интерфейса. Сигналы с четырех электродов пикапа поступают на четыре идентичных канала обработки сигналов и одновременно преобразуются четырьмя АЦП в цифровой вид. Входные каскады аналоговой части являются мал шумящими и имеют большое входное сопротивление для оптимального согласования с источниками сигнала, которыми являются электроды пикапов. Поскольку система должна обеспечивать измерения положения пучка в широком диапазоне числа частиц в сгустке (10^8 - 10^{10}), предусмотрена регулировка коэффициента передачи аналоговой части от 15 до 45 дБ. Еще одним требованием к аналоговой части является ее высокая линейность, что важно для уменьшения зависимости результата измерения от числа частиц в сгустке. После преобразования сигналов в цифровой вид далее они обрабатываются в FPGA. Разработанная аналоговая часть позволяет обеспечить следующие параметры системы:

- разрешение измерения положения пучка при пооборотных измерениях для 10^{10} протонов ≈ 30 мкм;
- общая погрешность измерения положения пучка не более 150 мкм.

Научный руководитель – канд. техн. наук Г. В. Карпов.

ОНЧ И СНЧ РАДИОШУМЫ ОТ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ

Л. Д. Тарабукина

Якутский государственный университет им. М. К. Аммосова

Институт космофизических исследований и аэронавтики

им. Ю. Г. Шафера СО РАН, г. Якутск

Основными источниками низкочастотных радиошумов в природе являются грозовые разряды. Но помимо очень низкочастотного (ОНЧ) импульса, происходящего непосредственно от молниевых разряда, часто наблюдается и появление сверх низкочастотной (СНЧ) компоненты. Существуют 3 основных предположения о происхождении СНЧ сигналов: 1) релаксация электромагнитных колебаний в полости Земля-ионосфера; 2) медленные токи, протекающие по каналу молнии после возвратного разряда; 3) токи в теле спрайта – разрядов «облако-ионосфера» на высоте 60-90 км, проявляющегося в виде красного свечения.

В данной работе проводилась статистическая обработка записей радиошумов, произведенных на штыревую электрическую антенну на северо-востоке Якутии ($\varphi = 67.95^\circ$, $\lambda = 134.95^\circ$) в регионе с отсутствием промышленных радиошумов. Был выделен 251 импульс с наличием как ОНЧ, так и соответствующего ему СНЧ радиосигналов. Разница времени прихода между этими составляющими радиошума лежала в пределах 7 мс, с наиболее вероятными значениями в 1-2 мс (35% и 34% соответственно). Вероятность отсутствия задержки составила 15%. Один случай задержки – 11 мс. По данным обработки 67,7% положительных разрядов «облако-земля» сопровождалось зарегистрированным СНЧ-излучением. Таким образом, можно говорить о необходимости положительного разряда (известно теоретическое обоснование) для возникновения СНЧ-излучения. Общая длительность сигнала менялась от 6 до 56 мс, с модальным значением – 14 мс. Частота СНЧ радиоимпульса падала от значения 167 Гц в начале сигнала до 63 Гц. Также были оценены такие параметры, как дальность (386 км) и ток в канале молнии (8 - 66 кА с медианой 26,87 кА).

Были обнаружены случаи появления второго пика амплитуды СНЧ «хвоста» с фазовым сдвигом - 14,7%. Время запаздывания второго пика амплитуды лежало в пределах от 2 до 11 мс и один случай – 40 мс. Учитывая получившиеся значения задержки, можно сделать вывод, что первоначальный СНЧ сигнал произведен медленными токами, а второй – токами в теле спрайта, спровоцированного положительным наземным молниевым разрядом.

Работа поддержана грантами: Президента РС(Я) для молодых ученых, РФФИ 08-02-00348-а, 09-05-98540-р_восток_а и программами Президиума РАН 16; АВЦП проект № РНП 2.1.1/2555; ФАНИ г.к.02.740.11.0248.

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

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ МОБИЛЬНОГО МЕДИЦИНСКОГО АППАРАТА

И. И. Тихонюк
ООО «Унискан»

Новосибирский государственный университет

Разработка системы питания рентгеновской трубки ведется на базе серийно выпускаемого компанией Унискан мобильного рентгеновского аппарата с автоматизированным управлением АРА 110\160. В текущей версии аппарата используется двухфокусная рентгеновская трубка с неподвижным анодом, рассчитанная на работу от двухполярного источника питания. Текущая конструкция и особенности системы питания трубки не позволяют уменьшить габариты и массу излучателя. Для решения этой задачи была разработана новая рентгеновская трубка с характеристиками, необходимыми для работы в режиме рентгеноскопии, причём анод трубки соединен с её металлическим корпусом и является заземлением системы питания. Последнее позволяет легче отводить тепло от анода и уменьшить вероятность пробоев с трубки.

Данная работа посвящена разработке системы питания для рентгеновской трубки с заземленным анодом. Система питания рентгеновской трубки включает в себя два основных функциональных блока — источника питания анодно-катодного узла и источника питания накала трубки. Источник питания анодно-катодного узла состоит из силового инвертора, повышающего трансформатора и высоковольтного умножителя с выходным напряжением до -120 кВ и средней мощностью до 4 кВт. Источник питания накала находится под потенциалом умножителя и выполнен в виде инвертора по причине того, что невозможно расположить в непосредственной близости с высоковольтным умножителем низковольтные подводящие провода источника питания накала.

В работе представлены результаты расчетов, моделирования в среде Pspice и экспериментальных включений разрабатываемой системы питания. К настоящему моменту собран и испытан на режимах до 80 кВ, 30 мА прототип системы питания. Ведется подготовка стенда для автоматизированной наработки 10-15 тысяч снимков с целью проверки надежности схемотехнического решения.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. О. Сайк.

РАЗРУШЕНИЕ КОГЕРЕНТНОГО РЕЖИМА В СИСТЕМЕ ДВУХ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ АВТОГЕНЕРАТОРОВ

А. А. Усюкевич

Томский государственный университет

Известно, что в системе двух взаимосвязанных автогенераторов с достаточно близкими частотами возможно явление взаимной синхронизации, при этом в системе устанавливается стационарная разность фаз, в зависимости от которой, выделяют такие характерные когерентные режимы колебаний, как синфазные, противофазные или близкие к ним. Однако последние исследования показывают, что даже простейшие автоколебательные системы при определенных условиях обладают способностью демонстрировать сложные шумоподобные движения, получившие название динамического хаоса. Изучение хаотической динамики автоколебательных систем, а также возможностей управления характеристиками движения создают основу для построения источников широкополосных сигналов для целей передачи информации.

В работе показано, что существование и устойчивость того или иного режима работы системы связанных автогенераторов обусловлено, в первую очередь, фазовыми параметрами цепи (канала) связи, определяющими взаимодействие автогенераторов. Расчет характеристик канала связи позволяет качественно определить границы этих областей. Как показывает практика, на сверхвысоких частотах параметр связи обладает существенными резонансными свойствами, которыми нельзя пренебрегать и при определенных условиях области настройки в частотном измерении становятся весьма узкополосными. Теоретический анализ условий локальной устойчивости, учитывающий резонансные свойства параметра связи системы двух взаимосвязанных автогенераторов показал, что когерентный режим является неустойчивым. Можно ожидать, что в этих условиях в результате разрушения когерентности в системе будет развиваться динамическая неустойчивость, приводящая к хаотизации движения.

Экспериментально доказано, что в системе связанных СВЧ-автогенераторов возможно, за счёт резонансных свойств, существование шумоподобных колебаний, как при абсолютном равенстве частот автогенераторов, так и при взаимной частотной расстройке порядка 60-90 МГц (рабочий диапазон частот автогенераторов – 3,2-3,5 ГГц). Ширина хаотического спектра достигает 700 МГц.

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

ДВУХФАЗНЫЙ ШИМ-РЕГУЛЯТОР НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATMEGA-8535

Б. А. Числов

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

Современные технологии широко используют электронные пучки, выпущенные в атмосферу, для процессов: радиационной сшивки полимеров, стимулирования и инициирования химических реакций, очистки дыма и сточных вод, дезинфекции зерна. Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН является лидером в России в области внедрения ускорителей электронов в промышленность. Мощности ускорителей серии ЭЛВ лежат в диапазоне до 0,5 МВт что накладывает повышенные требования к системам управления и питания ускорителей.

Основной составляющей системы питания является двухфазный преобразователь частоты (двухфазная система питания на порядок уменьшает пульсации напряжения на выходе), который по принципу действия относится к инверторам напряжения, выполненным по мостовой бестрансформаторной схеме на мощных IGBT модулях полумостов. Принцип регулирования выходного напряжения преобразователя основан на том, что мощность потребляется из сети только в промежутки времени, когда одновременно открыты два диагональных транзистора моста. Сдвигая управляющие импульсы первого полумоста относительно управляющих импульсов второго полумоста, можно регулировать эту длительность от нуля до максимума, где максимум равен полупериоду рабочей частоты. Блок ШИМ-контроллера предназначен для управления драйверами мощных выходных транзисторов преобразователя частоты и содержит задающий генератор с возможностью перестройки частоты, схемы формирования ШИМ сигнала и включения управляющих импульсов. На данный момент блок содержит несколько сотен деталей, и чтобы обеспечить должную точность выходного напряжения, требуется согласовывать обе фазы посредством подбора высокоточных ёмкостей.

В данной работе описывается процесс разработки аналогичного ШИМ-контроллера на базе микропроцессора ATmega8535, использование которого значительно уменьшает количество электронных элементов в блоке (а следовательно и увеличивает надежность прибора) и позволяет избавиться от связанных с влиянием внешней среды неточностей элементов. В будущем, разработанное устройство заменит прежний ШИМ-контроллер системы питания ускорителей серии ЭЛВ.

Научные руководители – Ю. И. Голубенко, канд. техн. наук
П. И. Немытов.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ МОДУЛЯТОР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПУШКОЙ

М. В. Якищенко

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

В работах, связанных с использованием электронно-лучевых пушек, часто приходится решать задачу установки и стабилизации напряжения в диапазоне от нескольких вольт до десятков киловольт. Так, например, диапазон изменения напряжения на сетке при стабилизации тока в электронно-лучевой пушке может достигать 6 кВ при токе не более 2 мА. Для того чтобы добиться таких диапазонов напряжения разрабатываются специальные высоковольтные модуляторы. Их параметры определяются конкретным приложением. Обычно нагрузкой подобных модуляторов является емкость управляющей сетки. По своей сути модулятор это высоковольтным усилителем. При разработке подобных усилителей, обычно основной проблемой является достижение необходимой полосы пропускания.

Целью данной работы является разработка высоковольтного модулятора для управления электронно-лучевой пушки предназначенной для сварки. Модулятор должен обеспечивать выходное напряжение от 0 до 5 кВ, обладать высоким быстродействием и иметь граничную частоту не менее 10 кГц.

Результатом данной работы является разработка высоковольтного модулятора с высокой частотной характеристикой для управления электронно-лучевой пушкой, предназначенной для сварки. Был предложен способ построения высоковольтных усилителей, в котором, транзисторы для получения нужного напряжения включаются последовательно, и каждый транзистор управляется индивидуально посредством трансформатора. Важной особенностью схемы является, то, что ее быстродействие не зависит от количества транзисторов в цепи, так как каждый транзистор управляется индивидуально и «отвечает» только за свой участок диапазона. Трансформаторы, используемые в схеме очень просты в изготовлении – всего три витка провода, один из которых с высоковольтной изоляцией.

Данная разработка обладает большой потенциальной областью применения. Это области связанные с использованием электронно-лучевых пушек, таких как задачи электронного охлаждения, электростатическая фокусировка промышленные ускорители и многие другие.

Научный руководитель – канд. техн. наук. В. В. Репков.

ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР, ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И МАГНЕТИЗМА

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ФЕРРОБОРАТОВ $RFe_3(BO_3)_4$ ($R=Gd, Er, Dy$) ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Р. Бердиев, З. Абдулмуталова
Самаркандский государственный университет

Магнитные свойства редкоземельные ферроборатов, являющиеся новыми магнитоэлектрическими материалами, при высоких температурах к сегодняшнему дню почти не изучены. Цель настоящей работы - определение основных магнитных характеристик редкоземельных ферроборатов $RFe_3(BO_3)_4$ ($R=Gd, Er, Dy$) методом измерения температурной зависимости магнитной восприимчивости $\chi(T)$ в интервале температур 20-900°C.

Образцы в поликристаллическом состоянии были синтезированы в проблемной лаборатории кафедры кристаллографии и кристаллохимии МГУ им. М. В. Ломоносова. $\chi(T)$ измерялись методом Фарадея с помощью маятниковых весов. Относительная относительная ошибка изменение χ составляет 3%.

Результаты изучения показали, что на зависимости $\chi^{-1}(T)$ боратов наблюдается три линейных участка и два излома; Зависимости $\chi(T)$ подчиняется закону Кюри-Вейсса. Наблюдаемые изломы объясняется следующим образом. Элементарная ячейка решетки боратов $RFe_3(BO_3)_4$ изоструктурна природному минералу хантиту и содержит три формульные единицы: RO_6 (призма), FeO_6 (октаэдр) и BO_3 (треугольник). Образуя слабые связи между гранями, в трехмерном пространстве кристаллы октаэдров FeO_6 соединены ребрами таким образом, что формируют одномерные винтовые цепочки, которые вытянуты вдоль кристаллической оси C_3 . Параметры этого октаэдра с повышением температуры кристалла изменяются и, вследствие этого, происходят два структурных фазовых перехода, аналогичные происходящий в чистом железе.

По экспериментальные зависимости $\chi^{-1}(T)$ найдены основные магнитные характеристики боратов - θ_p , C и значения магнитных моментов. Для всех боратов θ_p были отрицательны, что указывает на преобладающий характер антиферромагнитных взаимодействий в них. Исходя из правила аддитивности, рассчитана в рамках теории Ван-Флекка зависимость $\chi(T)$ боратов по составляющим χ^{Fe} , χ^R и Ван-Флековская часть восприимчивости (χ^{BF}). χ^{BF} оказалось значительно меньше основного члена парамагнитной восприимчивости боратов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Х. О. Шакаров.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИТЯЖЕНИЯ НА НЕОСНОВНЫХ ГАРМОНИКАХ В МОДЕЛИ ХАББАРДА СО СЛАБЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

П. Ю. Гатилов

Новосибирский государственный университет

Работа посвящена поиску механизма спаривания в ВТСП. За основную модель взята модель Хаббарда со слабым отталкиванием. Рассматривается взаимодействие частиц с противоположными спинами и квазиимпульсами на поверхности Ферми.

Энергия взаимодействия таких частиц может быть разложена на угловые гармоники в соответствующей задаче группы симметрии. Основная идея работы заключается в выделении взаимодействия на разных гармониках. Состояния на неосновных гармониках исключают встречу частиц на одном узле, поэтому на них не влияет отталкивание в первом, более высоком, порядке теории возмущений. С другой стороны, притягивающее взаимодействие на одной из гармоник может привести к связанному состоянию двух частиц (независимо от других гармоник).

Установлено, что в случае почти пустой зоны, когда поверхность Ферми изотропна, неосновные гармоники в точности равны нулю.

Рассматривается поправка в третьем порядке теории возмущений к взаимодействию частиц с противоположными спинами в случае наполовину заполненной зоны.

Учтена перестройка спектра квазичастиц, связанная с вырождением состояний на противоположных сторонах поверхности Ферми (нестинг) [1]. Перенормировка элементарного взаимодействия в результате нестинга не учитывается.

Рассчитана угловая зависимость энергии взаимодействия квазичастиц в третьем порядке теории возмущений. Расчёт ведётся при помощи диаграммной техники. Определены угловые гармоники. Установлено, что на чётной неосновной гармонике имеет место притяжение, что указывает на возможность возникновения сверхпроводящего состояния (образование куперовских пар на этой гармонике).

1. J. R. Schrieffer, X. G. Wen, S. C. Zhang, Dynamic spin fluctuations and the bag mechanism of high- T_c superconductivity, Phys. Rev. B, 39, 11663 (1988).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Э. Г. Батыев.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АМОРФНЫХ ЛЬДОВ НИЗКОЙ, ВЫСОКОЙ И СВЕРХВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ

К. В. Гец

Новосибирский государственный университет

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. Выяснение причин возникновения экспериментально обнаруженных коллективных колебаний [1] в аморфных льдах является важным вопросом в изучении аморфных тел. Кроме того, изучение различных фаз воды имеет большое значение для нахождения теоретически предсказанной второй критической точки [2].

Аморфный лед имеет ближний порядок, но не имеет дальнего порядка. Следствием этого должна была стать локализация в пространстве молекул воды, колеблющихся с одинаковой частотой и имеющих, при этом, большое значение амплитуды колебаний. Численные расчеты показали, однако, что молекулы воды, находящиеся в различных областях моделируемых ячеек аморфных льдов, участвуют в одних и тех же колебаниях (имея, в то же время, большое значение амплитуды). Характер взаимодействия между молекулами воды хорошо известен — это силы Ван-дер-Ваальса и водородная связь. Нами были рассмотрены модельные ячейки аморфных льдов низкой, высокой и сверхвысокой плотностей содержащие 512 молекул воды, расчёты велись в приближении жестких молекул, с использованием модифицированного SPC-E потенциала.

Методами молекулярной и решеточной динамики были найдены наиболее энергетически выгодные и динамически устойчивые структуры моделируемых аморфных льдов и исследованы их колебательные характеристики. Проведено сравнение с экспериментальными данными, доказывающее правильность и точность проведенных расчетов. Рассматривались колебания, в которых участвовало более половины ячейки молекул воды. Велось изучение распределения амплитуд колебаний молекул воды и распределения частиц по потенциальным энергиям. Также были изучены направления осей колебаний. Было показано наличие замкнутых вихреобразных колебательных структур в аморфных льдах.

-
1. F. Sette, M. H. Krisch *et al.*, *Science*, V 280, p1550-1555 (1998).
 2. O. Mishima, E. Stanley, *Nature*, V 396, p329 (1998)

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

СЛОИСТЫЕ СТРУКТУРЫ NI-GE: ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ

Ю. Э. Гребенькова, А. В. Черниченко
Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Гибридные структуры ферромагнитный металл – полупроводник привлекают большое внимание как перспективные материалы для современной электроники. В настоящее время довольно мало работ посвящено структурам Ge-3d металл, которые могут проявлять новые неожиданные свойства, в частности, из-за высоких скоростей взаимной диффузии этих материалов. В настоящей работе впервые экспериментально исследованы магнитные и магнитооптические свойства пленок Ge-Ni-Ge-Ni-Ge в зависимости от толщин составляющих слоев.

Серия Ge-Ni-Ge-Ni-Ge пленок получена методом ионно-плазменного распыления из отдельных источников в вакуумной камере при базовом давлении 10^{-6} мм рт. ст. в атмосфере аргона. Намагниченность измерена на SQUID (СКВИД) - магнетометре при температурах 0–275 К в магнитном поле (H) до 1 кОе. Измерения проводились в двух режимах: (1) образец охлаждался в магнитном поле (FC) и в отсутствии магнитного поля (ZFC), измерение намагниченности производилось в процессе нагревания. Эффект Фарадея (ЭФ) измерен при комнатной температуре в поле до 4 кОе, направленном нормально поверхности пленки вдоль светового луча.

У всех пленок в низкотемпературной области наблюдалось сильное различие между кривыми намагничивания, полученными из измерений в двух режимах. Кривые режимов FC и ZFC совпадают друг с другом только при температурах T, выше некоторой температуры T_m. Для пятислойных структур также характерны асимметрия петли гистерезиса и сдвиг вдоль оси магнитного поля. Эти особенности четко проявляются с увеличением толщины промежуточного слоя Ge. Неожиданным оказалось то, что ЭФ обратно пропорционален толщине промежуточного слоя Ge.

Магнитные свойства предположительно связаны с антиферромагнитным порядком в интерфейсе слоев и крупнозернистой поверхностью образцов. Обнаруженная зависимость ЭФ от толщины промежуточного слоя Ge объяснена диффузией Ge в Ni на значительную глубину. Приблизительная оценка показывает, что толщина смешанного слоя Ge_xNi_y составляет ~ 5 нм.

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

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ДВОЙНЫХ ГИДРАТАХ МЕТАН-ПРОПАН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ

Р. К. Жданов

Новосибирский государственный университет

Газовые гидраты являются достаточно хорошим контейнером для хранения и транспортировки различных газов. Они могут быть использованы для разделения газовых смесей, таких как природный газ по компонентам. Таким образом, исследование условий образования гидратов, определение областей их стабильности и состава является актуальной и востребованной задачей на сегодняшний день.

Существует зависимость получаемого состава двойных гидратов метан-пропан от температуры, при которой идет образование, от давления и состава исходной газовой смеси. В структуре гидратов КС-I и КС-II имеется два типа полостей: большие малые, молекулы метана могут заполнять любой из этих типов полостей, в то время как пропан может заполнять только большие полости. Соотношение заполнения больших и малых полостей определяется энергией взаимодействия молекул гостей, находящихся в полостях, с молекулами решетки хозяина и энтропийной составляющей свободной энергии. Модель, которая была построена в лаборатории, где выполнялась данная работа, позволяет с высокой точностью предсказывать состав двойного газового гидрата, степени заполнения полостей и фазовые равновесия между различными формами гидрата исходя из давления, температуры его образования и состава исходной газовой смеси.

В работе проводилось компьютерное моделирование поведения кубических структур КС-I и КС-II двойных гидратов метан-пропан при различных температурах, давлениях и различном составе газовых смесей для получения гидратов. Были найдены состав и области термодинамической стабильности двойных гидратов метан-пропан различных структур с учетом неполного заполнения полостей молекулами гостей. Были рассчитаны степени заполнения больших и малых полостей гидрата в зависимости от начальных условий. Для расчетов использовалось программное обеспечение созданное в лаборатории.

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

АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЙ СВЕРХТОНКИХ ПОЛЕЙ НА ПРИМЕСНЫХ ЦЕНТРАХ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В МАТРИЦЕ НИКЕЛЯ

В. В. Клековкина

Казанский государственный университет им. В. И. Ульянова-Ленина

Теоретические расчеты величин сверхтонких полей (СТП) наряду с экспериментальными методами ЯМР и мессбауэровской спектроскопии позволяют получать уникальную информацию об электронной структуре кристалла. В данной работе нами проведены самосогласованные расчеты и анализ значений СТП на ядрах примесных атомов переходных металлов в матрице никеля в рамках приближения когерентного потенциала метода Корринги–Кона–Ростокера в локальном приближении теории функционала плотности.

Значение величины СТП H_{hf} состоит из вкладов от электронов остова и валентных электронов. Обменное взаимодействие электронов поляризованной d -оболочки и электронов s -оболочек остова примесного атома индуцирует поляризацию последних. Поскольку это взаимодействие слабое, то вклад в значение СТП от электронов остова линеен по локальному магнитному моменту (ЛММ) примесного атома M_{loc} . Коэффициент пропорциональности, получающийся в расчетах (-100 для $3d$ -элементов и -212 для $4d$ -элементов в единицах кГс/ μ_B), отрицателен, поскольку *majority* s -электроны втягиваются в область спин-поляризованной d -оболочки, а *minority* – выталкиваются, и на ядре имеется избыток плотности *minority* электронов. Однако, согласно нашим расчетам, отдельные вклады от $1s$ -, $2s$ - и последующих оболочек отличаются по знаку. Вклад в значение СТП от валентных электронов состоит из двух частей. Локальное валентное СТП пропорционально ЛММ M_{loc} , коэффициент пропорциональности положителен, поскольку населенность *majority* s -состояний больше, чем *minority* состояний. Наведенное СТП отрицательно и пропорционально ЛММ соседних атомов матрицы M_{host} , поскольку обусловлено гибридизацией s -орбиталей примесного атома и спин-поляризованных состояний d -орбиталей атомов никеля.

Нами рассчитаны величины M_{host} , H_{hf} и M_{loc} для $3d$ - и $4d$ -примесных центров и определены коэффициенты в интерполяционной формуле $H_{\text{hf}}=aM_{\text{loc}}+bM_{\text{host}}$ [1]: $a=-47$, $b=-96$ для $3d$ -элементов, $a=-112$, $b=-203$ для $4d$ -элементов (в единицах кГс/ μ_B).

1. S. Blügel, H. Akai, R. Zeller, P. H. Dederichs, Hyperfine fields of $3d$ and $4d$ impurities in nickel, Phys. Rev. B35, 3271 (1987).

Научный руководитель – д-р хим. наук, проф. Р. М. Аминова.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАФИТА МАРКИ ГМЗ ОСЧ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ 15-50 ГПА

А. В. Малышева, А. И. Истомина

Уральский государственный университет имени А. М. Горького,
г. Екатеринбург

Работа посвящена исследованию электрических свойств графита марки ГМЗ ОСЧ. Изучена зависимость термоэдс от давления в области до 50 ГПа и импеданса в диапазоне частот 1 – 200 кГц в той же области давлений.

Измерения проводились в камере высокого давления (КВД) с наковальнями типа «закруглённый конус – плоскость» из искусственных поликристаллических алмазов «карбонадо» [1]. Эти наковальни хорошо проводят электрический ток и могут быть использованы в качестве электрических контактов к образцу.

При измерении термоэдс давление изменялось с шагом $\sim 0,5-10$ ГПа. На каждом этапе снималась зависимость термоэдс от времени до установления постоянного значения вплоть до давления ~ 47 ГПа. Затем проводились аналогичные измерения при уменьшении давления с тем же шагом, что и при повышении нагрузки. При нагрузке образца в диапазоне давлений от ~ 16 до ~ 28 ГПа наблюдается скачкообразное изменение величины термоэдс, что может говорить о возможном переходе в другое состояние образца в данном диапазоне давлений при комнатной температуре, после которого величина термоэдс уменьшается с ростом давления. При снижении давления термоэдс не возвращается в первоначальное состояние, то есть переход является необратимым. Наличие гистерезиса так же указывает на переход в другое состояние.

Исследования импеданса проводились с помощью измерителя-анализатора импеданса RLC-2000 при комнатной температуре в области частот 1–200 кГц. В результате проведенных измерений были обнаружены особенности поведения при давлении от ~ 18 до ~ 32 ГПа, что так же подтверждает наличие перехода в этой области давлений. Подобно предыдущим данным, переход является необратимым.

Таким образом, при исследовании зависимости термоэдс и импеданса чистого графита от давления было получено, что в области давлений от ~ 16 до ~ 28 ГПа при комнатной температуре наблюдается переход в другое состояние. Предположительно это фазовый переход.

1. Верещагин А. Ф., Яковлев Е. Н., Степанов Г. Н., Давление 2,5 Мбар в наковальнях, изготовленных из алмаза типа «карбонадо», Письма в ЖЭТФ, **16**, 240–242 (1972).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДА БЕРЕЗИНСКОГО-КОСТЕРЛИЦА-ТАУЛЕССА В ТОНКОЙ ПЛЁНКЕ НИТРИДА ТИТАНА (TiN)

С. В. Постолова

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

Тонкие сверхпроводящие плёнки переходят в сверхпроводящее состояние через резистивную область, в которой сопротивление непрерывно изменяется почти до нуля. На нижней границе этой области, при температуре $T_{\text{БКТ}}$, предсказан топологический переход Березинского-Костерлица-Таулесса (БКТ), при котором в системе возникает топологический дальний порядок. Актуальность изучения явления вызвана тем, что в точке перехода принципиально меняется отклик образца на различные внешние воздействия. Кроме того, в плёнках TiN наблюдается переход сверхпроводник-изолятор, и интересным вопросом является эволюция перехода Березинского-Костерлица-Таулесса в критической области перехода сверхпроводник-изолятор.

В работе исследованы низкотемпературные свойства плёнки TiN толщиной 5 нм. Плёнка выращена по технологии атомарно-слоевого осаждения из газовой фазы на предварительно термически окисленной кремниевой подложке. Исследования в электронном микроскопе показывают, что плёнка является поликристаллической с очень плотно упакованными кристаллитами. Эксперимент заключался в измерении в нулевом магнитном поле температурных зависимостей сопротивления образца $R(T)$ и изотермических зависимостей дифференциального сопротивления образца от протекающего через него тока $dV/dI(I)$. Низкотемпературные измерения проводились в кристате растворения He^3/He^4 по четырёхточечной схеме методом синхронного детектирования.

Численным интегрированием экспериментальных зависимостей $dV/dI(I)$ были определены вольтамперные характеристики плёнки. Ниже $T_{\text{БКТ}}$ ВАХ имеют степенной вид, с зависящим от температуры показателем степени $\alpha(T)$, выше $T_{\text{БКТ}}$ – полиномиальный вид. Такое изменение сопровождается заметным падением критического тока. Из анализа экспериментальных зависимостей $dV/dI(I)$ установлена температурная зависимость показателя степени $\alpha(T)$.

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

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ ТОКА НА КОНТАКТНОЙ ЧАСТИ ТВЕРДОГО ЯКОРЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ УСКОРИТЕЛЕ

А. С. Шевелев

Томский государственный университет

Наиболее термонапряженным узлом в электромагнитных ускорителях макротел, использующих «твердый якорь» для токосъема, является часть электропроводящего поддона, контактирующая с рельсовыми направляющими [1]. При движении якоря под действием Лоренцевой силы контактная часть его подвергается нагреву за счет трения о рельсовые направляющие, механическому воздействию в случае применения конусности направляющих, но в основном нагревается за счет выделения Джоулева тепла при протекании тока.

В данной работе выполнен параметрический анализ распределения тока на контакте секционированного якоря с помощью математического моделирования. Анализируется влияние толщины секций якоря; их количества, градиентного изменения их толщины, а так же электрофизических характеристик материала секций на величину плотности тока. Влияние трения скольжения и магнитного поля на распределение токов в якоря в данном приближении не учитывалось.

Расчеты проведены для ускорителя длиной 1 м, диаметром 1 см, с погонной индуктивностью рельсовых направляющих $k = 6 \cdot 10^{-7}$ Гн/м, погонной индуктивностью подмагничивающих устройств $K = 6 \cdot 10^{-7}$ Гн/м. Система электропитания ускорителя моделировалась емкостным источником энергии с емкостью 100 мФ и номинальным зарядным напряжением $U_0 = 5$ кВ.

Показано, что с увеличением количества секций в якоря до 10 максимальная амплитуда тока в якоря снижается примерно в два раза. Увеличение толщины каждой секции с 1 до 5 мм позволяет снизить амплитуду тока почти в три раза. Градиентное изменение (уменьшение) толщины секций в направлении движения якоря позволяет существенно «сгладить» распределение силы тока вдоль его длины.

1. G. A. Shvetsov, et al. Railgun accelerators of macroparticles. Part 1: General Characteristics // Megegaus Technology and pulsed power applications / Ed. By C. M. Fowler, R. S. Caird, D. J. Ericson. N. Y.: Plenum Press, 1987. P 775-794.

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

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

АНАЛИЗАТОР ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА НЕЙТРАЛОВ ПЕРЕЗАРЯДКИ

В. В. Белых

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

Измерение энергетического спектра нейтралов, вылетающих из плазмы, является эффективным средством диагностики плазмы в термоядерных установках. Анализ потока нейтральных атомов позволяет определять ионную температуру плазмы, функцию распределения быстрых ионов в экспериментах с нейтральной инжекцией, величину связанных с перезарядкой потерь энергии из плазмы.

В настоящее время в ИЯФ СО РАН ведется работа по созданию анализатора энергетического спектра нейтралов перезарядки. В разрабатываемом анализаторе для разделения частиц по энергиям используется магнитное поле постоянного магнита, для разделения атомов водорода и дейтерия используется электростатическое поле.

В работе приведены результаты тестирования и калибровок анализатора нейтралов. Для проверки параметров изготовленного магнита-сепаратора проведены измерения магнитного поля и сравнения с результатами расчетов. С использованием измеренного распределения магнитного поля проведено моделирование траекторий ионов различной энергии и массы и определены позиции для расположения регистрирующих датчиков. С помощью калибровочного источника проведена калибровка анализатора по энергиям и определено его энергетическое разрешение.

Созданный в результате работы прибор подготовлен к использованию в экспериментах на установке ГОЛ-3.

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

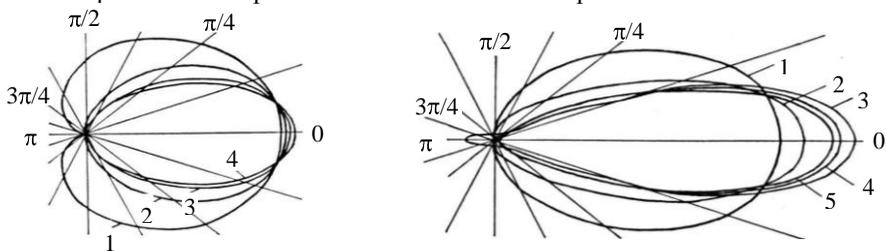
ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЫ С ПРОИЗВОЛЬНОЙ СТЕПЕНЬЮ АНИЗОТРОПИИ

С. А. Высоцкий, А. Б. Цыганов, А. В. Морин
Санкт-Петербургский государственный горный институт

Ни один из известных методов диагностики плазмы не позволяет определять анизотропную функцию распределения электронов (ФРЭ) и ее важнейшие угловые гармоники. Разработан математический аппарат метода плоского одностороннего зонда, для диагностики плазмы с произвольной степенью анизотропии. Метод заключается в измерении дискретного числа значений второй производной зондового тока по потенциалу зонда $I_V''(qU, \alpha)$ и последующем расчете угловых гармоник f_j и полной функции распределения электронов.

Для изучения влияния степени анизотропии ФРЭ на вид I_V'' , а также возможности восстановления полной ФРЭ проведен численный модельный эксперимент. Рассмотрен метод реконструкции полной ФРЭ для ограниченного числа угловых ориентаций зонда N при измерении величины I_V'' . Результаты численного анализа угловой структуры функции распределения электронов приведены на рисунке. Видно, что с увеличением N расчетные кривые быстро приближаются к точным. Исследовано влияние погрешностей эксперимента на устойчивость и точность вычисления $f(\varepsilon, \theta)$.

Выполненные в СПбГИ (ГУ) фундаментальные исследования легли в основу создания новой методологии диагностики анизотропной плазмы и нашли практическое приложение в плазменной энергетике.



а б

Угловая структура полной ФРЭ, рассчитанная для разного числа ориентаций зонда N при степенях анизотропии β : а) $\beta = 0,3$; N : 1 – 2, 2 – 3, 3 – 4; 4 – точная ФРЭ; б) $\beta = 0,1$; N : 1 – 3, 2 – 5, 3 – 7, 4 – 9; 5 – точная ФРЭ.

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

РЕГИСТРАЦИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ ВОДОРОДА В ТАНДЕМНОМ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАЗМЕННОМ ИСТОЧНИКЕ ИОНОВ С ПЛАЗМЕННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ КОЛЬЦЕВОЙ ГЕОМЕТРИИ

И. С. Емелев

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

Пучки отрицательных ионов водорода нашли широкое применение на современных ускорителях и на термоядерных установках. В настоящее время в ИЯФ СО РАН разрабатывается тандемный поверхностно-плазменный источник (ТППИ) отрицательных ионов водорода. Функциональное разделение генераций плазмы и поверхностной конверсии положительных ионов в отрицательные, а так же использование почти замкнутого конвертора и мультипольной магнитной ловушки с кольцевой геометрией поля в качестве генератора плазмы позволяет надеяться на получение пучка отрицательных ионов водорода с высокой плотностью тока. При этом ожидается снижение расхода цезия и повышение газовой эффективности.

В проведённых экспериментах по изучению плазмы в ТППИ с конвертором был выявлен ряд особенностей мультипольной магнитной ловушки с кольцевой геометрией поля, показана возможность получения плазмы с высокой температурой электронов и удержания положительных ионов в отрицательной потенциальной яме, а так же показана возможность регулирования энергии ионов, бомбардирующих поверхность конвертора. Далее была осуществлена первая регистрация отрицательных ионов водорода в таком источнике при работе с цезием. Получен ток ~ 2 мА секундной длительности со скважностью 5. Конструкция источника не позволяла равномерно напылять цезий на поверхность конвертора. Для получения более равномерной плёнки была предложена и изготовлена система распределённого напуска цезия. Проведено сравнение выхода отрицательных ионов при различном напуске цезия.

1. G.I. Dimov, Rev. Sci. Instrum. 73 (2002)

2. Г.И.Димов, И.С.Емелёв, “Распределение потенциала плазмы в тандемном поверхностно-плазменном источнике отрицательных ионов”, Письма в Журнал Технической Физики. Том 36. №3 (2010). (в печати)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Г. И. Димов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УСКОРЕНИЯ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. В. Ермолич, М. В. Кузнецова

Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева

В последнее время продолжает активно развиваться направление прикладных физических исследований, связанное с практическим осуществлением взаимодействия мощного плазменного потока с поверхностью конструкционных материалов. Реализация такого проекта связана с изменением параметров плазменного потока в процессе ускорения.

В данной работе приведены результаты исследований процесса ускорения плазменного потока в программе Delphi. На основе известных зависимостей скорости и энергии плазменного потока [1]:

$$v = \frac{b}{4m} \gamma q_0^2 (1 - e^{-2\gamma t}), \text{ где } \gamma = \frac{R}{2L}$$
$$Q = \frac{q_0^4 b^2 j^2}{32m} \eta (1 - e^{-2\gamma t})^2 = \chi (1 - e^{-2\gamma t})^2$$

были получены результаты моделирования процессов ускорения плазменного потока (см. рис. 1,2).



Рис. 1.

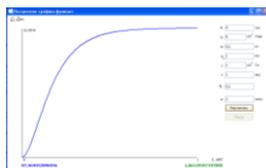


Рис. 2.

Результаты исследований дают удовлетворительное согласие с данными реального эксперимента.

1. Проблемы физики газа, плазмы и жидкости. Том 1. – Алматы, Ғылым, 1998. – 160 с.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Б. М. Усеинов.

ИЗМЕРЕНИЕ ЖЁСТКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА УСТАНОВКЕ ГОЛ-3

А. В. Жданов

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

Были разработаны диагностики для исследования жёсткого излучения на установке ГОЛ-3: тормозного излучения с входной диафрагмы и излучения потока нейтронов от D-D реакции.

В работе представлены результаты измерений асимметрии жёсткого тормозного излучения, возникающего при поглощении релятивистских электронов на входной обрезающей диафрагме. Диагностика состоит из 8 компактных помехозащищённых полупроводниковых датчиков, расположенных непосредственно на вакуумной камере вблизи диафрагмы. Целью измерений является оптимизация режима магнитной компрессии пучка.

Была поставлена задача выяснить форму электронного пучка при его инжекции в плазму на установке ГОЛ-3. В настоящее время точно известно, что пучок не проходит по центру соленоида у входной диафрагмы. Проведённые ранее интегральные измерения с помощью термопар не позволяют сказать, смещается ли пучок непрерывно при инжекции или постоянно отклоняется в одну сторону. Для этого создаётся система из 8 полупроводниковых диодов, расположенных вокруг катушки, временное разрешение которых позволяет проследить динамику движения электронного пучка в течение всего времени инжекции.

На установке существует система для измерения распределения потока нейтронов от D-D реакции. Проведена калибровка относительной чувствительности существующих локальных детекторов. Проводятся измерения. Был изготовлен новый датчик с большей площадью поверхности и большей чувствительностью. Теперь вместо платинового сцинтиллятора используется кристалл стибьена. Регистрация света осуществляется фотодиодом вместо системы оптоволоконно + ФЭУ.

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

ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ПОДДЕРЖКУ ТЕОРИИ ВИХРЕВОГО УДЕРЖАНИЯ ПЛАЗМЫ

К. В. Зайцев

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

В 2009 году был завершён очередной этап модернизации установки ГДЛ. Система атомарной инжекции в настоящее время состоит из восьми (до модернизации было шесть) инжекторных модулей с геометрической фокусировкой. Суммарная мощность пучков атомарного водорода или дейтерия достигает 5 МВт при длительности работы инжекторов 5 мс. Кроме того, система питания магнитного поля усилена дополнительным ёмкостным накопителем, что позволяет увеличить магнитное поле в центральной плоскости ГДЛ с 0.27 до 0.33 Тл и менять пробочное отношение в диапазоне от 30 до 50. В результате модернизации установки были достигнуты режимы стационарного удержания с относительным давлением β около 0.6 и температурой электронов до 200 эВ.

Данная работа посвящена изучению пространственного распределения быстрых ионов в зависимости от времени. Исследованы устойчивые режимы работы ГДЛ, а так же режимы, в которых наблюдается развитие плазменных флуктуаций. Для регистрации изменений магнитного поля, вызванных диамагнетизмом, используется система экранированных диамагнитных зондов, расположенных вдоль оси установки и по азимуту центрального соленоида (вблизи точки останова горячих ионов). Изучается частотный и модовый состав наблюдаемых колебаний, проводится пространственный корреляционный анализ сигналов с диамагнитных зондов и приемников пучков нагревных инжекторов.

Полученные результаты согласуются с теорией вихревого удержания плазмы в скрещенных электрическом и магнитном полях [1]. В частности, наблюдаются ожидаемые зависимости амплитуды и частоты возмущений магнитного поля от номера моды колебаний.

1. A. D. Beklemishev, P. A. Bagryansky, M. S. Chaschin, E. I. Soldatkina, Vortex confinement of plasma in symmetric mirror traps, to be published.

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

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОФИЛЯ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА С ПОМОЩЬЮ ГАММА-ОБСКУРЫ НА УСТАНОВКЕ ГОЛ-3

Е. А. Казаков

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

Многопобочная ловушка ГОЛ-3 используется в экспериментах по нагреву плотной плазмы ($n \sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$) мощным микросекундным РЭП ($E_e \sim 0.8 \text{ МэВ}$, $I \sim 25 \text{ кА}$, $j \sim 2 \text{ кА/см}^2$, $\tau \sim 12 \text{ мкс}$, энергия в пучке $\sim 130 \text{ кДж}$). В процессе релаксации средняя энергия электронов плазмы в течение времени инжекции пучка растет до 2-3 кэВ [1], а температура ионов достигает нескольких кэВ [2] при времени удержания плазмы в ловушке до 1 мс.

Одной из важных задач при нагреве плазмы электронным пучком является устойчивая его транспортировка по всей длине солениода, влияющая как на количественный нагрев плазмы, так и на ее устойчивость. Поглощение РЭП в веществе приемного коллектора расположенного на торце выходного узла ловушки ГОЛ-3 сопровождается рождением жесткого тормозного гамма излучения, мощность которого пропорциональна мощности падающего пучка. Таким образом, для определения пространственной структуры пучка на выходе установки достаточно зафиксировать распределение поля интенсивности гамма излучения с поверхности приемного коллектора.

Работа посвящена методике измерения тормозного излучения с помощью гамма обскуры и восстановлению по полученным данным профиля РЭП. В качестве затвора с выдержкой от 1 мкс использовался электронно-оптический преобразователь, что позволило анализировать динамику распределения плотности энергии пучка. Впоследствии результаты можно использовать для исследования неустойчивостей пучка с временным разрешением того же порядка.

1. V. Postupaev, A. Arzhannikov, V. Astrelin et al. Dynamics of Electron Distribution Function in Multiple Mirror Trap GOL-3, Fusion Science and Technology, 2009, Vol.55, No.2T, p. 144-146.

2. A. Burdakov, A. Arzhannikov, V. Astrelin et al. Effect of Fast Heating of Ions in Multimirror Trap During Electron Beam Relaxation, 33th European Physical Society Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Roma, June 19-23, 2006, P4.179.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ НА УСТАНОВКЕ ГОЛ-3 С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРАЛЬНО-СЕЛЕКТИВНОЙ 2D ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

И. Е. Карпов

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

В ИЯФ СО РАН на установке ГОЛ-3, многопробочной магнитной ловушки, проводятся исследования по нагреву и удержанию плазмы. Находящиеся в плазме атомы, ионы и молекулы эффективно излучают линейчатые спектры. Существуют оптические диагностики на основе интерференционного светофильтра (ИС), позволяющие определять спектральную мощность излучения соответствующих элементов. По полученному распределению интенсивности линий спектра можно определить потоки и концентрацию данных элементов.

В работе было необходимо определить поток графита с поверхности плазмоприемника. Для этого было изготовлено устройство «объектив» для фотографирования протяженных объектов излучающих в диапазоне длин волн $514 \div 518$ нм. При изготовлении нужно было учесть особенности используемого ИС, такие как ширина полосы пропускания и зависимость длины волны пропускания от угла падения излучения. Теоретически она

имеет вид $\lambda = \lambda_0 \sqrt{1 - \sin^2 \theta / n^2}$, где λ_0 - длина волны при нормальном падении, θ - угол падения, n – показатель преломления слоя.

Исследовав эти особенности экспериментально, был сконструирован «объектив». Он состоит из трех основных частей. Первая – входной объектив, который позволяет уменьшить угловой размер исследуемого объекта, чтобы смещение длины волны пропускания ИС не превышало $2,1 \pm 0,1$ нм. Вторая – ИС, используемый для выделения длин волн в диапазоне $514 \div 518$ нм. Третья – фокусирующий объектив. На выходе изображение регистрировалось с помощью цифровой ПЗС камеры.

С помощью изготовленного прибора была сфотографирована плазма в свете молекулы C_2 . Используя полученные данные, был вычислен поток соответствующих молекул с поверхности мишени.

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

ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК СВЕТА С ГЛАДКИМ СПЕКТРОМ НА ОСНОВЕ КСЕНОНОВОЙ ЛАМПЫ ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ТОМСОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ

А. А. Касатов

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

Основным методом определения функции распределения электронов в плотной высокотемпературной плазме является исследование спектра рассеянного лазерного излучения на электронах плазмы. Регистрация рассеянного излучения осуществляется измерительной системой, которая может быть основана на различных спектральных приборах (призмных, дифракционных, и др.) и фотоприёмниках (ФЭУ, лавинных фотодиодах, ЭОП и др.).

Для восстановления спектра рассеянного излучения необходимо знать относительную спектральную чувствительность различных спектральных каналов регистрации. Поэтому необходимо проводить регулярную относительную калибровку каналов. Самым надежным методом калибровки является подача в систему регистрации излучения с известным спектром. Ранее для этой цели на установке ГОЛ-3 использовался источник света на основе вольфрамовой лампы СИ-8 с быстрым модулятором. Однако недостатком такой системы являлась малая мощность излучения и невозможность её частого использования в силу сложной конструкции модулятора.

В работе представлен альтернативный импульсный источник света на основе газоразрядной ксеноновой лампы ИФП 1200-М4 для калибровки системы регистрации томсоновского рассеянного лазерного излучения на установке ГОЛ-3 в ИЯФ СО РАН.

В диапазоне длин волн 700-1100 нм выполнены измерения спектра излучения источника. С помощью серебряного отражателя были подавлены интенсивные линии излучения Хе I и Хе II. В результате получен достаточно гладкий непрерывный спектр излучения лампы. Это позволяет использовать её в качестве источника инфракрасного излучения для калибровки системы регистрации томсоновского рассеяния.

Определена относительная чувствительность 10-канальной системы томсоновского рассеяния.

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

ИЗУЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА НА УСТАНОВКЕ «ТАНДЕМ-БНЗТ»

Д. А. Касатов, А. Н. Макаров, А. С. Кузнецов, В. И. Алейник,
И. Н. Сорокин, С. Л. Синицкий, С. Ю. Таскаев
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

Бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) – избирательное уничтожение клеток злокачественных опухолей путем накопления в них стабильного изотопа бор-10 и последующего облучения эпитепловыми нейтронами. В результате поглощения нейтрона бором происходит ядерная реакция с большим выделением энергии в клетке, что приводит к ее гибели. Проведенные на реакторах клинические испытания показали, что БНЗТ позволяет лечить глиобластомы мозга и метастазы меланомы, считающиеся практически неизлечимыми, применяемыми в настоящее время методами. Для широкого внедрения этой методики в клиническую практику необходимы компактные и недорогие источники эпитепловых нейтронов на основе ускорителя.

В ИЯФ СО РАН разработан уникальный источник эпитепловых нейтронов на основе протонного ускорителя-тандема [1], рассчитанного на генерацию пучка с током 10 мА при энергии протонов 2 МэВ. Генерация нейтронов осуществляется в ядерной реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ на специально разработанной литиевой мишени [2]. К настоящему времени установка полностью собрана, проведены первые эксперименты по генерации нейтронов [3]. Основной задачей текущих исследований является определение параметров нейтронного потока, таких как интенсивность, энергетический спектр и пространственное распределение. Полученные результаты будут использованы для оценки качества нейтронного потока применительно к исследовательским задачам, а так же формулирования технического задания для создания модератора нейтронного потока.

1. В. Bayanov, V. Belov, E. Bender, et al. Nucl. Instr. And Meth. Phys. Res. A 413 (1998) 397.

2. В. Bayanov, E.Kashaeva, A. Makarov, et al. A neutron producing target for BINP accelerator-based neutron source. Applied Radiation and Isotopes, Vol. 67, Issues 7-8, Supplement 1, p. S282-S284 (July 2009).

3. Кузнецов А.С., Малышкин Г.Н., и др. Первые эксперименты по регистрации нейтронов на ускорительном источнике для бор-нейтронозахватной терапии. Письма в ЖТФ, 2009, т. 35, вып. 8, стр. 1-6.

Научный руководитель – А. С. Кузнецов.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ИОННОГО ИСТОЧНИКА ПО УГЛОВОЙ РАСХОДИМОСТИ И МАССОВОМУ СОСТАВУ ПУЧКА

Д. В. Кислер

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

В ИЯФ СО РАН для инжекции протонного пучка в ускоритель разрабатывается ионный источник, основанный на высокочастотном разряде. Он должен работать при частоте повторения рабочих импульсов 50 Гц и длительности импульса 1 с с ионным током до 100 мА и энергией пучка 50 кэВ. Важными характеристиками пучка являются массовый состав и угловая расходимость.

Массовый состав пучка – это содержание в пучке частиц с полной энергией E , и частиц с энергиями $E/2$, $E/3$. В ускорительной технике к инжектируемому пучку предъявляется требование высокого содержания частиц с полной энергией.

Угловая расходимость пучка определяет фокусировку и возможность ускорения до высоких энергий пучка без нарушения его целостности. Для инжекции пучка в ускоритель необходимо минимизировать угловую расходимость.

Целями данной работы являются настройка режима работы ионного источника на минимум угловой расходимости пучка и определение потока газа в ионный источник, оптимального для максимальной концентрации частиц с полной энергией в пучке.

Угловая расходимость пучка измерялась по его профилю, полученному с помощью системы вторично-эмиссионных датчиков.

Массовый состав пучка измерялся путем регистрации излучения доплеровски смещенных линий H_{α} . Для этого после прохождения пучком газовой мишени измерялись спектры излучения водородных фракций пучка в зависимости от потока газа, напускаемого в газоразрядную камеру ионного источника.

В результате работы ионный источник настроен по току пучка на минимум угловой расходимости. Определен оптимальный поток газа в разрядную камеру, при котором пучок имеет наибольшее содержание ионов с полной энергией.

Данная работа поддержана Президентским грантом МД-2995.2009.2

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИАПЕРТУРНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА С ДУГОВЫМ ПЛАЗМЕННЫМ ЭМИТТЕРОМ ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В. В. Куркучеков

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

Для нагрева плазмы в многопробочной магнитной ловушке ГОЛ-3 требуется мощный электронный пучок длительностью в сотни микросекунд и с большим энергозапасом. Такой пучок предполагается получить в источнике с плазменным эмиттером и мультиапертурной электронно-оптической системой (ЭОС). Для достижения высокой ($\sim 1 \text{ кА/см}^2$) плотности тока в плазме пучок необходимо подвергнуть магнитной компрессии, таким образом, наличие магнитного поля в области формирования и транспортировки пучка является необходимым условием задачи.

В представляемой работе исследовалась техника получения субмиллисекундного электронного пучка в источнике с плазменным эмиттером на основе водородной дуги с холодным катодом и полым анодом (плазменным экспандером). Эксперименты проводились на специальном стенде при следующих параметрах пучка: $U_{\text{accel}} \leq 30 \text{ кВ}$, $I_{\text{emiss}} \approx 100 \text{ А}$, $\tau \approx 0.25 \text{ мс}$, как без внешнего магнитного поля, так и в продольном поле величиной до 0.15 Т . Пучок формировался в ЭОС диодного типа с 37 круглыми апертурами, расположенными в виде гексагональной решетки.

Задачей экспериментов являлось изучение влияния внешнего магнитного поля на работу источника и получение максимальных параметров пучка (плотности тока эмиссии и полного тока). В экспериментах было показано, что магнитное поле оказывает существенное влияние на работу дугового эмиттера и источника в целом. В частности, наложение внешнего магнитного поля вызывает радиальное сжатие дугового разряда в экспандере и, тем самым, приводит к «стягиванию» тока эмиссии к оси ЭОС. Исследование радиального распределения тока эмиссии пучка в зависимости от величины продольного магнитного поля представляется важным для оценки перспективы увеличения полного тока пучка за счет увеличения числа эмиссионных апертур – и, тем самым, поперечного размера эмиссионной решетки – в схеме источника с одинарным дуговым генератором плазмы, работающем в продольном магнитном поле $\sim 0.1 \text{ Т}$.

Научный руководитель – И. В. Кандауров.

ДИНАМИКА МИКРОЧАСТИЦ В ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЕ

Б. Р. Кутлимуротов

Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека, г. Ташкент

Известно, что микроскопические (размером ~ 1 мкм) частицы, помещенные в плазму, могут приобретать электрический заряд $\sim 10^3 e^-$ [1]. Система из большого количества таких частиц, взаимодействующих с плазмой, называется пылевой (или сложной) плазмой. В экспериментах частицы левитируют в плазме под действием внешних электрических полей, которые уравнивают силу притяжения. Коллективное поведение пылевой плазмы приводит к богатому разнообразию пространственных структур, таких как кристаллы, пузыри и капли [2]. Однако, интересно также рассмотреть динамику нескольких частиц [3].

В настоящей работе рассмотрена динамика двух заряженных частиц массой m_1 и m_2 , с зарядами q_1 и q_2 , соответственно. Считается, что движение происходит в горизонтальной плоскости, и частицы находятся в двумерном параболическом потенциале, который моделирует воздействие электродов и внешних полей. Взаимодействие между частицами описывается потенциалом Юкавы, и предполагается наличие внешней силы, зависящей от времени. Динамика частиц определяется системой четырех связанных дифференциальных уравнений второго порядка.

Изучены стационарные состояния системы частиц. При этом в радиально симметричном потенциале существует бесконечное множество положений равновесия. Найдено, что в асимметричном потенциале существуют два положения равновесия. Определены частоты малых колебаний возле стационарных точек. Влияние внешнего переменного поля приводит к резонансным явлениям, если частота поля близка к собственным частотам. Устойчивость стационарных точек и резонанс исследовались также с помощью численного моделирования.

Изучение динамики нескольких частиц может быть полезным как для тестирования параметров внешних потенциалов, так и для определения параметров плазмы.

1. В. Е. Фортов, и др, Пылевая плазма, УФН 174, 495 (2004).

2. В. Н. Цытович, Плазменно-пылевые кристаллы, капли и облака, УФН 167, 57 (1997).

3. J. D. E. Stokes, et al, Dynamics of two particles in a plasma sheath, Phys. Rev. E78, 036402 (2008); V. Yu. Karasev, et al, Single dust-particle rotation in glow-discharge plasma, Phys. Rev. E79, 026406 (2009).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Э. Н. Цой.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННО-ЦИКЛОТРОННОГО РЕЗОНАНСНОГО ИСТОЧНИКА ИОНОВ

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

Ионные источники становятся все более и более востребованными в различных областях науки и промышленности. Наиболее часто ионные источники применяются в качестве инжекторов для ускорителей элементарных частиц, для создания диагностических ионных пучков, или для масс-спектрометрии.

Наибольший интерес в настоящее время представляют электронно-циклотронные резонансные источники ионов. Их основным преимуществом является большая длительность непрерывной работы, до нескольких сотен часов. В отличие от ЭЦР ионных источников ионные источники других типов из-за недолговечности горячих катодов и эрозии электродов требуют частого вскрытия для проведения регламентных работ.

Для того чтобы снизить энергозатраты при работе разрабатываемого ЭЦР ионного источника, было решено использовать для создания магнитного поля, удерживающего плазму, не катушки с током, а постоянные магниты. Разработанная магнитная система является подвижной, что позволило исследовать эмиссионные характеристики источника, в зависимости от величины магнитного поля в ЭЦР области. Также была исследована зависимость эмиссионных характеристик от величины давления нейтрального газа в плазменной камере. Исследования, представленные в работе, направлены на настройку ионного источника с целью нахождения оптимального режима работы.

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

ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГОСОДЕРЖАНИЯ АТОМАРНЫХ ПУЧКОВ В КАМЕРЕ SHIP УСТАНОВКИ ГДЛ

М. Э. Мустафин

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

В настоящее время на установке ГДЛ проводится эксперимент Synthesized Hot Ion Plasmoid (SHIP). Камера SHIP – это минипробкотрон, в центре которого во время эксперимента находится плазма. Для нагрева плазмы в нее инжeksiруются атомарные пучки с помощью двух инжекторов «СТАРТ-Ф». Инжекция атомов водорода является единственным методом нагрева плазмы в камере SHIP, поэтому важно знать энергосодержание инжектируемого пучка, которое в дальнейшем будет использоваться в расчетах.

Для определения энергосодержания пучка в работе применяется калориметр, находящийся в центре камеры SHIP. Кроме того, калориметр используется для прицеливания инжекторов в его центр, чтобы внести максимальный вклад в нагрев плазмы во время эксперимента SHIP. Калориметр представляет собой медный диск, установленный на пути пучка. С помощью автоматизированной системы вторично-эмиссионных датчиков, расположенной на калориметре, имеется возможность определить профиль плотности пучка, формируемого инжектором. Благодаря профилю пучка удается прицелить пучок в центр калориметра. Методика измерения энергосодержания пучка состоит в следующем: пучок нейтральных атомов водорода сталкивается с калориметром и передает ему свою энергию. Скачок температуры калориметра прямо пропорционален переданной энергии пучка. Для измерения температуры, калориметр оснащен двумя термopарами, расположенными на разных расстояниях от центра диска. Температура измеряется непосредственно до столкновения и через некоторое время после столкновения пучка с калориметром. Данное время, которое необходимо для выравнивания температуры по всему объему калориметра оценено в настоящей работе.

В результате данной работы получены профили плотности пучка, благодаря которым удалось прицелить инжектор в центр калориметра. В работе вычислено среднее значение энергии пучка нейтральных атомов водорода и оценена погрешность. С помощью зависимости температуры калориметра от времени, вычислено значение коэффициента черноты медного диска.

Научный руководитель – А. В. Киреенко.

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ ПЛАЗМЫ СОЛНЦА

П. В. Оконечников

Новосибирский государственный университет

С точки зрения изучения физики плазмы детальное изучение звезд во вселенной, а в первую очередь Солнца, имеет принципиальное значение. Плазма находится в космосе в совершенно уникальных условиях огромных давлений, температур и плотностей, которые человечество не может воссоздать в лаборатории по техническим и экономическим причинам. Кроме того, звездное вещество является самоорганизующейся системой, которая может функционировать на протяжении очень долгого (даже по космическим меркам) времени. Солнце принадлежит одному из самых распространенных видов звезд в космосе, то есть изучая поведение солнечной плазмы мы можем проецировать наши знания на более масштабные области космоса. Кроме того, изучение вещества Солнца стимулирует к развитию не только физику плазмы, но и атомную и ядерную физику, магнитогидродинамику, спектроскопию и т.д.

В ходе работы выполнено рассмотрение модели Солнца, как наиболее вероятного состояния больших масс плазмы в космосе. Представлен научный анализ наиболее энергетически выгодного состояния плазмы, в условиях генерации, переноса и излучения большого количества энергии, вырабатываемой солнцем за счет термоядерного синтеза. Представлены физические основы процессов, протекающих в недрах и на поверхности солнца.

Кроме этого в рамках работы проведена обработка полученных результатов наблюдений с целью сопоставления их с теорией и также представлен анализ наиболее вероятных моделей проявлений солнечной активности, как классических, так и результатов самых последних исследований. Наличие этих флуктуаций показывает на неустойчивое состояние плазмы Солнца в локальных участках фотосферы. Плазма проявляет нестабильности и в зависимости от локальной напряженности и энергии «вмороженного» в плазму магнитного поля, оно может приводить к совершенно различным эффектам. В комплексе эти нестабильности носят периодический характер, который характеризуется знаменитым 11-летним циклом солнечной активности.

Проведен общий анализ 23 цикла солнечной активности, который недавно закончился. А также анализ активности солнца в начале 24 цикла, с возможными прогнозами поведения солнца в будущем.

Исследование проводилось на базе учебного автоматизированного астрофизического комплекса «Вега» физического факультета НГУ.

Научные руководители – А. Р. Нестеренко, И. Н. Нестеренко.

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПЛАЗМЕННОГО ЭМИТТЕРА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ИНЖЕКТОРА ДЛЯ СТЕЛЛАРАТОРА WENDELSTEIN 7-X

И. А. Прохоров

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

В ИЯФ СО РАН разрабатывается диагностический инжектор атомов для стелларатора Wendelstein 7-X (Грайфсвальд, Германия). Данный инжектор должен формировать водородный пучок с энергией до 60 кэВ, эквивалентным током атомов с полной энергией до 2,5 А и длительностью до 10 сек. Для данного инжектора будет использован плазменный эмиттер, основанный на высокочастотном разряде. Эмиттер должен удовлетворять высоким требованиям к однородности потока и массовому составу плазмы, а также иметь эффективную систему охлаждения.

Отличительной конструктивной особенностью данного эмиттера является наличие конического расширителя с магнитной стенкой. Использование расширителя должно улучшить массовый состав (увеличить содержание компоненты H^+) за счет генерации более плотной плазмы с более высокой степенью ионизации в меньшем объеме и дальнейшего уменьшения плотности в расширителе до требуемой величины.

На основании полученного ранее профиля плотности тока для прототипа данного эмиттера [1] было решено увеличить диаметр плазменной камеры с 14,5 см до 18 см и уменьшить длину магнитной стенки расширителя в два раза для достижения требуемой плотности тока ($\sim 120 \text{ мА/см}^2$) и однородности ее профиля ($\pm 10\%$).

Задача защиты керамической стенки плазменной камеры от тепловых нагрузок, вызываемых потоком частиц плазмы, была решена установкой водоохлаждаемого фарадеевского экрана. При его проектировании были проведены численные расчеты тепловых нагрузок, в последствие подтвержденные экспериментальными данными. Для уменьшения потерь плазмы на заднем фланце камеры были установлены постоянные магниты.

Данная работа поддержана Президентским грандом МД-2995.2009.2

1. RF plasma emitter of diagnostic neutral beam injector for the W7-X stellarator, I.V. Shikhovtsev, I.I. Averbukh, A.A. Ivanov, V.V. Mishagin, A.A. Podymigin. Fusion Engineering and Design 82 (2007) 1282–1286

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

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАЗМЫ МЕТОДОМ ТОМСОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ НА УСТАНОВКЕ ГДЛ

А. Н. Пушкарева

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

Газодинамическая ловушка (ГДЛ) – открытый осесимметричный пробкотрон с двухкомпонентной плазмой. Одна из компонент – столкновительная мишенная плазма. Другая компонента – быстрые ионы, образующиеся при захвате мощного атомарного пучка. Торможение быстрых ионов определяется плотностью и температурой электронов плазмы.

На установке ГДЛ электронная температура измеряется методом томсоновского рассеяния. Используется излучение неодимовой лазерной системы с энергией 20 Дж и длительностью импульса 40 нс. Излучение пересекает камеру по диаметру и фокусируется в пятно размером менее 1 мм. Рассеянное на электронах плазмы излучение собирается объективом, проектирующим изображение каустики на входную щель полихроматора. На выходе полихроматора установлен блок световодов. Свет с каждого спектрального канала подается на соответствующий фотоприемник. Для относительной калибровки чувствительности каналов часть излучения генератора по световоду вводится в полихроматор, и равномерно освещает вход световодного блока. Одновременное перемещение фокусирующей линзы и поворот собирающей излучение системы позволяет перемещать точку зондирования по радиусу в диапазоне от 0 до 12 см. Спектр рассеянного излучения позволяет вычислить электронную температуру плазмы.

Были установлены новые фотоприемники С30659-1064-3АН, позволившие улучшить соотношение сигнал/шум в 10 раз. Проведена спектральная калибровка этих фотоприемников с использованием лампы СИ-У8 при температуре 1984 °К. Для повышения точности измерений вычислена поправка, учитывающая ширину спектральных каналов.

В новом квазистационарном режиме работы ГДЛ измерены пространственное и временное распределение электронной температуры плазмы, а также зависимость температуры от захваченной мощности. Эти данные будут использоваться для проведения расчетов поведения быстрых ионов по методу Монте-Карло.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИИ (СУБ-)ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТИ ДВОЙНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЧАСТОТЫ ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ НАГРЕВЕ ПЛАЗМЫ НА УСТАНОВКЕ ГОЛ-3

В. Ф. Складаров

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

Одной из фундаментальных проблем физики плазмы является задача, связанная с возникновением и развитием ленгмюровской турбулентности в плазменном образовании, и, в частности, протекание нелинейных процессов в условиях турбулентности плазмы. Одним из наиболее ярких представителей задач этого класса является процесс эмиссии электромагнитного излучения на удвоенной плазменной частоте, наблюдаемый при инжекции пучка электронов в плазму. В природе данный процесс наблюдается, например, в качестве электромагнитных всплесков на Солнце II и III типа.

На установке ГОЛ-3 (ИЯФ СО РАН) существует принципиальная возможность наблюдения излучения в окрестности двойной плазменной частоты за счёт слияния двух ленгмюровских волн в электромагнитную волну. Для регистрации излучения используется уникальная радиометрическая диагностика, разработанная в ИЯФ, принцип работы которой основан на использовании квазиоптических сеточных фильтров.

В работе приведены результаты экспериментов на установке ГОЛ-3, со следующими параметрами: плотность плазмы $n_e \approx 10^{14} \div 10^{15} \text{ см}^{-3}$; параметры мощного релятивистского электронного пучка (РЭП): энергия электронов $E_e \sim 0,8 \text{ МэВ}$, ток пучка I_e – до 30 кА, плотность тока пучка $j_e \sim 2 \text{ кА/см}^2$, длительность пучка $\tau \sim 12 \text{ нс}$, энергосодержание $Q \sim 130 \text{ кДж}$. Приведены результаты экспериментов по исследованию поляризации излучения, исследованию тонкой структуры спектра излучения. Также в работе приведены эксперименты по регистрации электромагнитного излучения в широкой полосе частот включающую ленгмюровскую частоту.

Автор выражает благодарность А. В. Бурдакову, С. А. Кузнецову, К. И. Меклеру, С. В. Полосаткину, В. В. Поступаеву, А. Ф. Ровенских, С. Л. Синицкому и всей команде экспериментаторов многопробочной ловушки ГОЛ-3 за сотруничество и полезные обсуждения.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МГД-АКТИВНОСТИ ПЛАЗМЫ В УСТАНОВКЕ ГОЛ-3

А. В. Судников

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

В ходе экспериментов по удержанию плотной горячей плазмы в многопробочной ловушке ГОЛ-3 были обнаружены признаки МГД-активности плазмы на стадии ее остывания в отсутствие полного тока по плазменному шнуру, проявляющиеся в виде коротких всплесков магнитного поля, диагностируемых при помощи зондов Мирнова и неинтегрирующих диамагнитных петель. Всплески представляют собой быстрозатухающие (менее 5 периодов) колебания магнитного поля с основной частотой $\sim 0.1 \div 1$ МГц; модовая локализация позволяет предполагать, что возмущение представляет собой смещенную относительно центра трубку достаточно малого радиуса с током $\sim 1 \div 50$ А. Была обнаружена универсальная степенная зависимость с показателем $\alpha = 1.87$ амплитуды таких всплесков от вероятности их появления. [1]

Изучение данного явления потребовало разработки диагностического блока, включающего в себя многоканальные системы измерения азимутальной и продольной компонент магнитного поля. Измерение азимутальной компоненты поля возможно двумя наборами датчиков, один из которых имеет повышенную чувствительность и ограниченный диапазон амплитуд сигналов и их частот.

Для повышения симметрии протекания тока, а так же улучшения помехозащищенности и времени жизни измерительных каналов, в блоке предусмотрен цилиндрический токоведущий лайнер, не несущий функций вакуумной камеры. Предусмотрена возможность установки в блок дополнительных диагностик.

1. Судников А. В., Бурдаков А. В., Иванов И. А., Макаров М. А., Меклер К. И., Полосаткин С. В., Поступаев В. В., Ровенских А. Ф., Сеницкий С. Л. Импульсная МГД-активность плазмы установки ГОЛ-3 на стадии остывания. // Тезисы докладов XXXVII Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 2010, стр. 93.

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

ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ В ПЛАЗМЕ СОБСТВЕННОГО ГАЗА

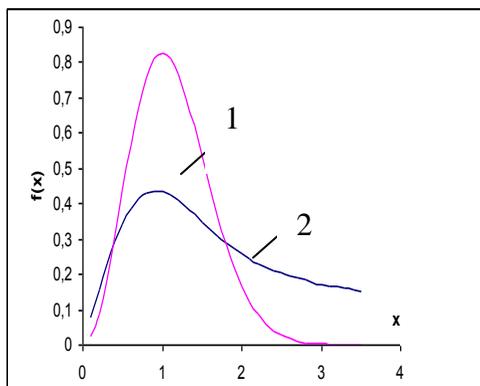
М. А. Черкасова, А. П. Мезенцев
Санкт-Петербургский государственный горный институт
(технический университет)

Проведены расчеты и экспериментальные измерения функции распределения ионов (ФРИ) в гелиевой плазме зондовым методом.

Рассмотрено установившееся распределение ионов по скоростям при условии, что доминирующим процессом, определяющим распределение ионов по скоростям, является резонансная перезарядка. В стационарной и однородной плазме решено уравнение Больцмана. Рассмотрены такие условия движения ионов, когда скорость, приобретаемая ими на средней длине свободного пробега, существенно больше средней скорости атомов. В предположении, что частота межатомных столкновений в единице объема плазмы значительно больше частоты ион-атомных столкновений, получена функция распределения ионов, имеющая вид распределения Досона. На рисунке для сравнения приведены графики распределений Максвелла и Досона. Видно, что число частиц в области больших и малых энергий для распределения Досона значительно больше, чем для равновесного распределения.

Измерена функция распределения ионов по скоростям зондовым методом и выполнено сравнение экспериментальных и расчетных ФРИ. В выполненных исследованиях различие не превышало 10%, что, с учетом погрешности зондового метода измерений, является удовлетворительным результатом.

Рис.1 Функции распределения Максвелла -1 и Досона – 2.



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

АЛЬФВЕНОВСКАЯ ИОННО-ЦИКЛОТРОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ В ПЛАЗМЕ С БОЛЬШОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

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

Альфвеновская ионно-циклотронная неустойчивость возникает в плазме с анизотропной функцией распределения ионов и конечным β . Неустойчивость наблюдалась в открытых ловушках [1] (2ХПВ, ТМХ, ШИР ГДЛ) и в магнитосфере [2]. Подробно изучались критерии возникновения неустойчивости в рамках линейной теории [3] и численных моделей [4,2]. В литературе в качестве критерия возникновения обычно используется критерий абсолютности неустойчивости в форме $\beta A^2 > Const$, который, однако, не выполняется для сильно анизотропной плазмы, $A \gg 1$.

Цель данной работы – изучение порога альфвеновской неустойчивости в сильно неоднородной бесстолкновительной плазме, помещенной в слабонеоднородное магнитное поле. Ограниченность плазмы приводит к появлению дискретного спектра мод со своими частотами пороговыми β и их локализации. Локализация существенно ограничивает возможные волновые вектора возмущений и значительно поднимает порог неустойчивости. Предположение о высокой анизотропии плазмы и слабой неоднородности магнитного поля значительно упрощает аналитический анализ системы уравнений Максвелла-Власова, которая сводится к одномерной задаче на собственные значения для поперечных компонент возмущения полей. Численное решение позволяет найти при заданной анизотропии пороговое β и соответствующую частоту возмущения. Получено пространственное распределение возмущений полей и показано, что неустойчивые возмущения локализованы в области порядка размера плазмы.

-
1. T.A. Casper, G.R. Smith, Phys.Rev.Let., V.48, №15, p.1015 (1982).
 2. A. Mangeney, R. Grappin, Geophys. Research Let., v. 30, ssc13-1 (2003).
 3. D. C. Watson, Phys. Fluids, v. 23, № 12 (1980).
 4. T. Tajima, K. Mima, J. M. Dawson, Plasma Review Let., v39, №4 (1977).

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

МАГНИТНАЯ ДИАГНОСТИКА ПРИЭЛЕКТРОДНОЙ ПЛАЗМЫ

А. Б. Цыганов, М. А. Мамелькина, М. Н. Сагайдаченко
Санкт-Петербургский государственный горный институт
(технический университет)

Фундаментальные исследования и разработки в области плазменной энергетики являются одним из важнейших направлений современной науки и техники по решению проблемы прямого преобразования энергии.

Малые пространственные размеры приэлектродных областей, высокие концентрации заряженных частиц, функции распределения которых анизотропны, сильные электрические поля и многообразие протекающих процессов затрудняют и в большинстве случаев делают невозможным применение традиционных методов диагностики приэлектродной плазмы.

Создан новый метод одновременной диагностики анизотропной приэлектродной плазмы и эмиссионных свойств катодов с различной геометрией поверхности.

В качестве одномерной модели приэлектродной плазмы создан идеальный кнудсеновский Cs-Va диод с поверхностной ионизацией.

Исследование зависимости относительного ослабления электронного тока насыщения в магнитном поле положено в основу метода диагностики приэлектродной плазмы. Под действием магнитного поля происходит пространственное перераспределение концентрации электронов, что приводит к изменению распределения потенциала в межэлектродном зазоре и последующему изменению траекторий движения электронов. Таким образом, поведение электронов описывается самосогласованной системой стационарных кинетических уравнений Власова с учетом внешнего магнитного поля и уравнением Пуассона. В результате решения этой системы построены магнитные характеристики для различных степеней компенсации, учитывающие конечность ширины приэлектродных областей, неоднородность катода по работе выхода и поверхностный коэффициент отражения.

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

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПУЧКА ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ ВОДОРОДА

Д. В. Юров

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

Стационарные пучки отрицательных ионов (ОИ) водорода служат источниками частиц для дальнейшего ускорения. Они используются для инъекции в циклотроны для наработки изотопов, в тандемных и других ускорителях.

Одной из основных характеристик пучка является его поперечный эмиттанс, который определяет возможности фокусировки и транспортировки пучков для их дальнейшего ускорения. Значение эмиттанса зависит от вклада различных групп генерации ОИ, образующихся на поверхностях катода, анода и в объеме плазмы. Группы генерации ионов различаются по начальной энергии и их относительный вклад в полный ток можно определить при анализе энергетического спектра пучка ОИ. Не менее важной характеристикой пучка являются его шумы, представляющие собой колебания силы тока и пространственного распределения частиц пучка. Они зависят от колебаний плотности плазмы в разряде и положения плазменной границы в области вытягивания пучка. В свою очередь, шумы тока пучка и его эмиттанс могут быть связаны с величиной и частотой шумов напряжения разряда.

Целью данной работы является регистрация энергоспектра пучка ОИ и определения его зависимости от различных параметров работы поверхностно-плазменного источника: тока разряда, магнитного поля, давления водорода, напряжения и величины флуктуаций напряжения горения разряда. Исследование влияния шумов разряда на энергетический спектр пучка представляется необходимым для дальнейшего улучшения параметров вытягиваемого пучка.

Измерение энергетического спектра пучка проводилось электростатическим анализатором с углом влета ионов 45° и разрешающей способностью по энергии $\delta W/W \sim 1 \cdot 10^{-3}$, которая позволяет регистрировать различные группы ионов при полной энергии $W=5$ кэВ.

Получены энергоспектры пучка при различных параметрах разряда, тока разряда, магнитного поля в газоразрядной камере, потоке подаваемого водорода. Проанализирована связь энергетического разброса пучка с величиной шумов напряжения разряда.

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

СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ЭРОЗИИ МЕДНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

С. И. Яковлев

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

В настоящее время основным методом определения эрозионных характеристик электродов плазмотронов является весовой способ, при котором уровень эрозии вычисляется по потере массы электрода за время его работы. Метод является очень трудоемким, энергозатратным и позволяет определить только средний уровень эрозии электрода за время его работы. В то же время существует необходимость оперативного контроля эрозии электродов как с точки зрения фиксации критических режимов работы плазмотрона, так и с целью определения текущего уровня загрязнения потока плазмы материалом электрода. Одним из способов решения этой задачи является применение спектральных методов.

В работе представлены результаты спектрометрического определения распределения температуры и концентрации атомов меди в воздушной плазменной струе плазмотрона.

Температура плазмы измерялась по отношению интенсивностей излучения линий меди [1]. Измеренные полные интенсивности спектральных линий позволяют получить плотность соответствующих верхних возбужденных состояний и полную атомную плотность, если известна температура и применимы уравнения равновесия [2].

Для измерения температуры и концентрации атомов меди в плазменной струе были измерены спектры в сечении 5 мм от среза сопла для нескольких положений линии наблюдения с шагом 1 мм.

Проведенные измерения показывают, что полные интенсивности спектральных линий позволяют количественно сопоставить им уровень эрозии медных электродов, если известна температура, и могут служить индикатором процесса эрозии.

1. В. И. Наливайко, П. А. Чубаков, А. Н. Покровский, А. А. Михальченко, В. И. Кузьмин, Е. В. Картаев. Малогабаритный спектрометр для эмиссионного анализа потоков низкотемпературной плазмы, Теплофизика и аэромеханика, 2007, т.14, № 2, стр. 257-267.

2. Грим Г. Спектроскопия плазмы. М.: Атомиздат, 1969, стр. 250-252.

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

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИН И ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ПЕРИОДА ПЛЕНОК МЕТОДОМ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ С МАЛОЙ ВАРИАЦИЕЙ УГЛА

И. А. Азаров

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

При измерении толщин пленок и покрытий методом эллипсометрии возникает неоднозначность, связанная с периодическим характером зависимости эллипсометрических углов ψ и Δ от толщины. Для пленок с малым поглощением невозможно установить точное значение толщины по результатам единственного измерения без знания интерференционного периода. Традиционно для нахождения периода применяется многоугловая или спектральная эллипсометрия. Но эти методики нуждаются в сложном оборудовании и требуют существенных затрат времени на измерения и обработку результатов.

Создание простой методики определения толщин многопериодных прозрачных пленок без применения сложных программно-аппаратных комплексов является актуальной задачей для нужд электронной и оптической промышленности.

В работе создан макет устройства на базе серийного эллипсометра ЛЭФ со статической фотометрической схемой, позволяющий проводить экспрессные измерения методом эллипсометрии с малой вариацией угла. Разработана методика однозначного определения толщин.

Уравнение эллипсометрии $\rho = \operatorname{tg}\psi \cdot e^{i\Delta} = R_p/R_s$ связывает обобщенные коэффициенты Френеля с эллипсометрическими параметрами. Изменение параметра $\delta\rho \sim \mathbf{d} \cdot \delta\varphi$ пропорционально изменению угла $\delta\varphi$ и толщине пленки \mathbf{d} . Таким образом, зная абсолютные значения эллипсометрических углов, а также их приращения при вариации углов, можно определить интерференционный период и однозначно восстановить толщину пленки.

Схема устройства позволяет поворачивать образец на фиксированный малый угол (1°), что изменяет угол падения. Правильный ход луча в плече анализатора обеспечен цилиндрической линзой в плече поляризатора, которая создает расходящийся по вертикальной оси пучок с углом $\sim 1.5^\circ$.

Испытания проведены на серии образцов пленок SiO_2 на кремниевой подложке и показали хорошую точность (~ 2 нм) для разных периодов.

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

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА И РЕЛАКСАЦИЯ (111)- ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДА ЛИТИЯ

М. В. Алейникова
Кемеровский государственный университет

В настоящей работе вычисления геометрии и электронной структуры (111)- поверхности оксида лития, имеющего структуру антифлюорита, проводились пакетом CRYSTAL06 [1], гибридным методом VЗРW. Для кислорода использовался базисный набор локализованных функций гауссова типа O_6-31d1, для лития Li_6-11G [2]. Пакет программ CRYSTAL позволяет моделировать поверхность, полагая формально параметр решетки в Z- направлении, перпендикулярном к выбранной плоскости, равным 500 Å. В данной работе рассматривались 14 поверхностных слоев, определяемых атомами с фиксированной Z.

Согласно нашим расчетам для объемной структуры, оптимизированная постоянная решетки оказывается равной 4.614 Å, что отличается от экспериментального значения [3] на 0.9 %. По полученным значениям релаксации поверхности, представленным в таблице, атомы кислорода во втором слое смещаются вглубь на 0.133 Å, или на 2.9 % постоянной решетки, а атомы лития в слоях 1,3 и 4 смещаются на 6, 1.7 и 3.8 %. Эффективные заряды лития в верхнем слое оказываются на 0.001 |e| меньше, чем объемные, а заряды кислорода увеличиваются на 0.001 |e|. Поверхностная энергия релаксированной поверхности составила 0.52 Дж/м², что на 0.47 Дж/м² меньше нерелаксированной.

слой	атом	ΔZ (%)	Q, e
1	Li	-6.025	0.571
2	O	-2.893	-1.145
3	Li	-1.733	0.575
4	Li	-3.778	0.575
5	O	-2.35	-1.151
6	Li	-0.897	0.575

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. <http://www.crystal.unito.it>.

3. S. Hull, T. W. D. Farley, W. Hayes, and M. T. Hutchings, J. Nucl. Mater. 160, 125 (1988).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ю. Н. Журавлев.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ $pSi-n(SiGe)_{1-x}(ZnSe)_x$ СТРУКТУР

К. А. Амонов

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз

В данной работе приводятся экспериментальные результаты исследований спектральной фоточувствительности $pSi-n(SiGe)_{1-x}(ZnSe)_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) гетероструктур. Структуры выращивались методом жидкофазной эпитаксии из ограниченного объема оловянного раствора-расплава в водородной среде [1]. Наиболее оптимальной скоростью охлаждения для получения качественных слоев с зеркально-гладкими поверхностями оказалась 1 град/мин. В качестве подложек были

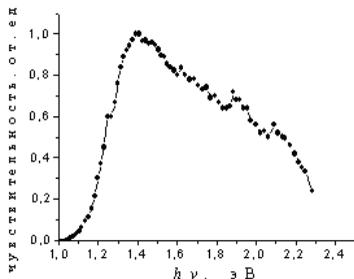


Рис.1. спектральная фоточувствительность $pSi-n(SiGe)_{1-x}(ZnSe)_x$ структур

использованы кремниевые пластинки КДБ-0,01 с ориентацией (111) диаметром 20 мм. Выращенные эпитаксиальные пленки имели n тип проводимости с толщиной 10-20 мкм. Фоточувствительность изготовленных структур охватывает широкий диапазон энергий фотонов от 1,03 эВ до 2,3 эВ (рис. 1). В области энергии $\sim 1,9$ эВ наблюдается пик чувствительности, который обусловлен молекулярными примесями ZnSe, энергетический уровень которого расположен в валентной зоны кремний [2]. Из рис. 1. видно, что спектральная фоточувствительность структуры начинается с энергии квантов 1,03 эВ, что обусловлено узкозонной компонентой Ge эпитаксиального твердого раствора $(SiGe)_{1-x}(ZnSe)_x$. Широкозонная компонента твердого раствора ZnSe с концентрацией 1 мол.% не сильно влияет на ширину запрещенной зоны кремния и как изовалентный примесь образует примесный уровень в валентной зоне кремния.

1. Saidov A.S., Razzakov A.Sh., Risaeva V.A., Koschanov E.A. Material chemistry and physics. 2001, Vol. 68, p.1-6

2. А.С. Саидов, М.С. Саидов, Ш.Н. Усмонов К.А. Амонов, Д. Сапаров, Гелиотехника. 2008. №2, с.105-107

Научный руководитель - проф. А. С. Саидов.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФТОРА С ПОВЕРХНОСТЬЮ ζ -InAs(001)-(4×2)

А. В. Бакулин, С. В. Еремеев, О. Е. Терещенко, С. Е. Кулькова
 Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск
 Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Полярные поверхности с ориентацией (001) полупроводников III-V групп широко используются в современных технологиях. Для их использования необходимо точное удаление атомов или даже монослоев с поверхности. Известно, что атомно-слоевое травление реализуется подбором адсорбатов, которые селективно реагируют на определенные атомы на полупроводниковой поверхности. Эволюция атомной и электронной структуры полупроводников при взаимодействиях с галогенами остается в настоящее время недостаточно изученной.

В настоящей работе проведено изучение атомной и электронной структуры поверхности ζ -InAs(001)-(4×2) (рис. 1). Расчет проводился программным кодом VASP с использованием обобщенного градиентного приближения для обменно-корреляционного функционала.

Рассмотрена адсорбция фтора для ряда положений на поверхности, обогащенной индием, и оценена энергетика связи фтора с поверхностью. Обсуждаются изменения в атомной структуре, зонных спектрах, плотностях электронных состояниях и зарядовой плотности, связанные с адсорбцией фтора, также проведена оценка диффузионных барьеров на поверхности. Самой энергетически выгодной для фтора является дырочная S_2 позиция, а не вершинная M_1 , как для хлора или йода. Показано, что при адсорбции в S_2 позиции наблюдается разрыв индиевого димера.

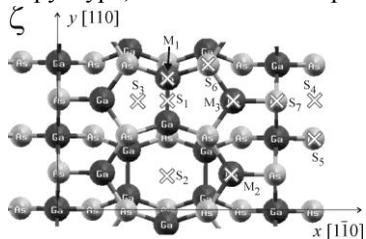


Рис. 1. Атомная структура поверхности ζ -InAs(001)-(4×2)

Проведенные исследования позволяют утверждать, что фтор в первую очередь образует связь там, где энергия связи минимальна, а далее из-за малой величины диффузионных барьеров диффундирует в позиции с высокой энергией связи.

Таблица 1. Энергия связи фтора (в эВ) на поверхности ζ -InAs(001)-(4×2)

Позиция	M_1	M_2	M_3	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
Энергия, эВ	4,47	4,37	4,06	4,48	4,58	3,69	3,55	3,84	3,72	4,19

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 09-02-01045а) и междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН (№ 99).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. Е. Кулькова.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК НИТРИДА КРЕМНИЯ С НАНОКЛАСТЕРАМИ КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫМИ ТЕРМИЧЕСКИМИ ОТЖИГАМИ ПРИ ДАВЛЕНИИ ДО 11 КБАР

К. О. Бугаев

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

Интерес к диэлектрическим пленкам с полупроводниковыми нанокластерами обусловлен широкой областью их применения: от оптоэлектронных устройств и новых солнечных элементов большой площади до элементов flash-памяти. Прямое исследование структуры нанокластеров с применением электронной микроскопии сопряжено с методическими сложностями (это дорогостоящий, разрушающий, требующих больших затрат времени метод), поэтому актуально развитие неразрушающих оптических методик контроля их структуры.

Исходные пленки SiN_x , ($1 \leq x < 4/3$) были получены с применением метода плазмохимического осаждения на подложку из кремния. Пленки с большой долей избыточного кремния содержали аморфные кластеры кремния [1]. Исходные пленки отжигались при температуре 1130°C как без давления, так и при давлении 11 кбар. Исходные и отожженные пленки исследовались с применением методик сканирующей и спектральной эллипсометрии, спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС), фотолюминесценции (ФЛ) и ИК-спектроскопии. Термическая обработка привела к росту реальной и мнимой части коэффициента преломления в спектральной области, соответствующей оптическим переходам в нанокластерах кремния. По данным КРС обнаружено формирование нанокластеров кремния после отжигов в пленках с относительно малой долей избыточного кремния. Самым интересным результатом представляется влияние давления при отжиге на оптические свойства – спектры ФЛ пленок отожженных без давления и под давлением радикально различаются. Для объяснения данного эффекта необходимы дополнительные исследования.

1. Т. Т. Корчагина, Д. В. Марин, В. А. Володин и др., ФТП, 2009, 43, 11, 1557 (2009).

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПИРОКОЭФФИЦИЕНТА В ОБЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОНАМИ КРИСТАЛЛАХ ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА

А. А. Бушманова

Амурский государственный университет, г. Благовещенск

Метод тепловых волн широко распространен при исследовании распределения поляризации $P(x)$ по толщине сегнетоэлектрического кристалла.

Методом динамического пироэффекта исследовался пироэффект в кристаллах триглицинсульфата (ТГС), которые подвергались облучению электронами с энергией 30 кэВ.

Для двух групп кристаллов триглицинсульфата определялся пирокоэффициент. В одной из групп учитывалось изменение пирокоэффициента в зависимости от прогрева кристалла при одинаковой дозе облучения. Во второй группе исследовалась зависимость пирокоэффициента от дозы облучения.

На рисунках 1 и 2 приведены зависимости пирокоэффициента от глубины кристалла, рассчитанные методом регуляризации Тихонова (рис. 1) и методом среднего распределения температуры [1] (рис. 2).

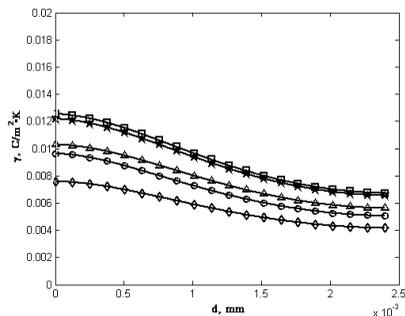


Рисунок 1

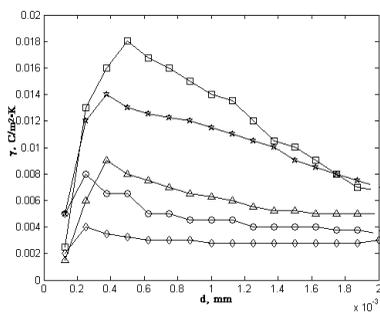


Рисунок 2

Установлено, что с повышением температуры наблюдается повышение пирокоэффициента и возникновение пика вблизи освещенной поверхности кристалла. Увеличение дозы облучения приводит к уменьшению значения пирокоэффициента.

1. Малышкина О.В., Мовчиков А.А. Новый метод определения координатных зависимостей пиротока в сегнетоэлектрических материалах/ О.В. Малышкина, А.А. Мовчиков// ФТТ. – 2007. - том 49. -выпуск 11.

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук, доцент И. Б. Копылова.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕЗАРЯДКИ УРОВНЕЙ КВАНТОВЫХ ЯМ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ КРЕМНИЙ-ГЕРМАНИЙ

П. В. Винокуров

Якутский государственный университет имени М. К. Аммосова,

В последние годы во всем мире интенсивно исследуются гетероструктуры с квантовыми ямами. Такие структуры представляют интерес при создании быстродействующих электронных и оптоэлектронных приборов. Структурам на основе GaAs и InP (InAs/GaAs, GaAs/InP и InP/GaInP) посвящено много работ [1], тогда как структуры Si/SiGe/Si изучены значительно слабее.

В данной работе исследовались гетероструктуры Si/SiGe/Si, выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) на Fz-Si n-типа проводимости с разным содержанием Ge (7, 10 и 15 %) в слое SiGe. Молекулярный луч Ge был произведен термическим испарением из твердого поликристаллического Ge. Захороненный слой SiGe, имеющий толщину 14 нм, был δ -легирован В с концентрацией $6 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$. Буферный и верхний слои также δ -легированы бором с той же концентрацией. Толщины этих слоев составляли 80 и 38 нм, соответственно. Для обеспечения низкого поверхностного заряда и высокой концентрации носителей в слоях и в SiGe квантовых ямах была использована пассивация поверхности органическим слоем 1-octadecene.

В работе исследовались процессы динамической перезарядки уровней квантовых ям в наноразмерных структурах Si/SiGe/Si. Для исследования были использованы методы зарядовой спектроскопии глубоких уровней (Q-DLTS) в сочетании с комплексом других электрофизических методов (вольт-фарадные и вольт-амперные характеристики, временные зависимости тока). Измерения параметров структур производились в интервале температур от 80 К до 300 К.

Методом спектроскопии глубоких уровней были сняты спектры Q-DLTS. Из полученных данных были определены энергии активации, концентрации центров захвата и их эффективные сечения захвата при различных температурах. Было обнаружено, что концентрация глубоких уровней коррелирует с содержанием германия.

Из вольт-амперных характеристик были построены зависимости $\ln(I)$ от $1/T$ и по наклону кривых посчитаны энергии активации проводимости при разных напряжениях.

1. Н. Н. Леденцов, М. В. Устинов, В. А. Шукин, П. С. Копьев, Ж. И. Алфёров, Д. Бимберг. Гетероструктуры с квантовыми точками: получение, свойства, лазеры, Физика и техника полупроводников, 1998, том 32, № 4, с. 385-410.

ЗАРОЖДЕНИЕ НАНООСТРОВКОВ ГЕРМАНИЯ НА СТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОДЛОЖКАХ КРЕМНИЯ

Д. Ю. Власов

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

Массивы полупроводниковых квантовых точек (КТ) являются примером нульмерных систем с особыми физическими свойствами и потенциалом для применения в приборах, работающих на новых принципах (в светодиодах, одноэлектронных транзисторах, спинтронике, квантовом компьютере). Рост наностроек Ge на структурированных подложках Si (с заранее созданными в заданных позициях ямками размера 10-100 нм) позволяет создавать пространственно упорядоченные массивы КТ. Несмотря на широкие исследования роста Ge на структурированных подложках Si, малоизученным остается вопрос о зависимости образования наностроек от формы ямок. В данной работе методом молекулярной динамики исследуется транспорт Ge на структурированной поверхности Si. В частности, изучена зависимость энергетического рельефа структурированной поверхности от формы ямок.

В качестве исследуемого объекта использовался массив гетероструктуры Ge/Si(100)-(2×1) (20 монослоев Si, 2 монослоя Ge, латеральные размеры 5.5нм×5.5нм), содержащий ямку шириной 4 нм. В основной геометрии боковые стенки ямки ограничивались 4-мя гранями с ориентацией типа (111). В латеральных направлениях накладывались периодические граничные условия. С использованием эмпирического потенциала взаимодействия Терсоффа был рассчитан энергетический рельеф структурированной поверхности. Вблизи края ямки обнаружен барьер 2.0 эВ для диффузии адатомов Ge вглубь ямки. Дополнительные расчеты были проведены для случаев меньшего наклона стенок ямки и для структурированной подложки Si(111)-(7×7). В обоих случаях получено уменьшение величины барьера. Изложенные результаты находятся в согласии с экспериментальными данными [1, 2].

1. P. L. Novikov et al., Nucleation of Ge nanoislands on pre-patterned Si substrates, 18th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" St Petersburg, Russia, June 21-26, 2010 (в печати).

2. G. Rinke, G. Mussler, J. Gerharz, J. Moers and D. Grutzmacher, Growth of Ge dots on templated Si substrates with diffusion-altered holes, EPL 85, 58002 (2009).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук П. Л. Новиков.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ОБЪЕМНОГО ГЕТТЕРИРОВАНИЯ

Б. Гаипов, Т. У. Тошбоев, С. К. Ахоров

Самаркандский государственный университет им. Алишера Навои

В данной работе исследовано влияние термообработки при различных температурах на стабильность таких комплексов с целью получения дополнительной информации о природе комплексов и уточнения их вклада в кинетику образования термодиффектов. Для этого по известной технологии были изготовлены образцы кремния, последовательно легированные серой, цинком, кадмием при температурах, когда наблюдались эффективное образование комплексов между примесями. Затем образцы подвергали изохронному отжигу в интервале 1000-1150 °С в течение 1 час. После каждого цикла отжига измеряли удельное сопротивление и тип проводимости образца при комнатной температуре. В каждом случае, изохронному отжигу подвергались контрольные образцы Si<B,S>, Si<B,Zn> и Si<B,Cd>, изготовленные при тех же условиях.

В процессе последующих отжигов в интервале температур 100-1150 °С в течение часа образцы практически не меняют свои электрические параметры, и только выше 1100 °С наблюдается рост удельного сопротивления, а дальнейшее увеличение температуры приводит к изменению ρ и типа проводимости. В контрольных образцах Si<B,Zn>, Si<B,Cd>, Si<B,S> заметный распад начинается при 150 °С, а при 300 °С материал приобретает исходные электрические параметры, и выше 1000 °С начинается рост ρ .

В контрольных же образцах Si<B,S> этот процесс происходит в интервале 750-950 °С. При этом при 900 °С образцы меняют тип проводимости на p, затем наблюдается рост ρ и при 1100 °С снова меняется тип проводимости на n-тип с последующим уменьшением ρ . Устойчивость параметров образцов Si<B,Zn>, Si<B,Cd> при различных термоотжигах до 1100 °С объясняется устойчивостью комплексов серы и исследуемых примесей в кремнии. При более высоких температурах, видимо, происходит распад комплексов на изолированные центры замещения серы и внедрения цинка и кадмия.

Из этих результатов следуют очень важные выводы: электро-нейтральные комплексы серы с атомами цинка и кадмия достаточно стабильны до температуры 1100 °С, а при более высоких температурах происходит частичный или полный распад этих комплексов, а свойства материала будут определяться уже поведением изолированных атомов.

Научные руководители - канд. физ.-мат. наук, доцент С. К. Ахоров, доцент Т. У. Тошбоев.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОГЕНИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР $Cd_xHg_{1-x}Te$

М. О. Гарифуллин

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

Гидрогенизация полупроводников – широко известное явление, которое может приводить к изменению электрических и оптических свойств. Для проникновения атомов водорода в материал достаточно его контакта с водой. В производстве ИК фотодиодов на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ) присутствуют технологические процессы, при которых появление атомов водорода в КРТ неизбежно (химическая обработка в растворах и сухое плазмохимическое травление) [1, 2]. Водород может проявлять различные свойства в зависимости от своего положения в решетке КРТ [3].

В работе были измерены распределения концентрации носителей заряда по толщине пленок КРТ МЛЭ после гидрогенизации с помощью кипячения в деионизованной воде. В пленках КРТ n-типа наблюдается изменение типа проводимости, а в пленках p-типа наблюдается увеличение концентрации дырок. Измерения при послойном травлении показали, что после кипячения у поверхности формируется тонкий слой с высокой концентрацией дырок (до 10^{19} см^{-3}). С увеличением глубины концентрация резко уменьшается и выходит на почти постоянный уровень. Последующий отжиг увеличивает концентрацию дырок в материале и выравнивает профиль распределения носителей заряда по всей толщине пленки.

Полученные результаты объясняются обогащением поверхностного слоя КРТ гидридоподобными соединениями, электрически нейтральными. Водород из них переходит в КРТ с образованием двух типов акцепторов – быстро- и медленнодиффундирующих. Предполагается, что быстрые акцепторы – это атомарный водород в междоузлиях, а медленные акцепторы – атомы водорода в узлах подрешетки металла. Обсуждается возможность влияния на степень обогащения водородом поверхностного слоя КРТ.

1. Terry D. Golding and Ronald P. Hellmer, Photo-assisted hydrogenation process, United States Patent Application Publication (2008)

2. W.M. C. Hughes and M. L. Swanson, Observation of Indium-Vacancy and Indium-Hydrogen Interactions in $Hg_{1-x}Cd_xTe$, J. Electron. Mater. N8 (1993)

3. ZS. Rak, Mahanti S.D. and Krishna, Ab Initio Studies of Hydrogen Defects in CdTe, J. Electron. Mater. N8 (2009)

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

МЕХАНИЗМ РЕКОМБИНАЦИИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В НАНОКРИСТАЛЛАХ РЕМНИЯ, СФОРМИРОВАННЫХ В ПЛЕНКАХ SiO₂

А. В. Герт

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

Идея создания оптоэлектронных устройств на основе кремния появилась уже достаточно давно. Но ее осуществление из-за непрямозонности этого полупроводника казалось невозможным до того, как в 1990г. Л.Т. Канхэмом было сделано первое сообщение о люминесценции нанокристаллов кремния при комнатной температуре в красном и инфракрасном диапазоне спектра.

В последнее время наиболее широко обсуждались три модели, претендующие на описание природы люминесценции пленок SiO₂, содержащих нк-Si. Это рекомбинация неравновесных носителей заряда, расположенных на уровнях размерного квантования в нк-Si, рекомбинация носителей заряда через уровни дефектов структуры и рекомбинация автолокализованных экситонов (STE), образованных на Si-Si димерах, располагающихся на границе нанокристалл-матрица. В то же время неоспоримых доказательств в пользу этой или иных моделей до сих пор не получено.

Целью нашей работы являлось выяснение механизма рекомбинации неравновесных носителей заряда в нанокристаллах кремния, сформированных в пленках SiO₂. Для выяснения механизма рекомбинации была исследована стационарная и нестационарная ФЛ под действием внешнего электрического поля.

Нами обнаружено, что приложение внешнего электрического поля приводит к понижению интенсивности фотолюминесценции и красному сдвигу максимума полосы фотолюминесценции нанокристаллов кремния. Время затухания фотолюминесценции после импульсного возбуждения при приложении электрического поля не изменялось. Полученные экспериментальные результаты были рассмотрены в рамках модели рекомбинации неравновесных носителей заряда через квантово-размерные уровни и в рамках модели рекомбинации автолокализованных экситонов, формирующихся на границе нанокристалл кремния – диоксид кремния. В результате были получены доказательства в пользу модели автолокализованных экситонов

Научный руководитель - д-р физ.-мат. наук К. С. Журавлев.

ИССЛЕДОВАНИЕ БАРЬЕРНЫХ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУР КРТ С ВАРИЗОННЫМИ СЛОЯМИ

Д. И. Горн, С. Н. Несмелов, С. М. Дзядух
Томский государственный университет
Сибирский физико-технический институт при ТГУ

В настоящее время актуальной задачей является исследование наногетероструктур на основе полупроводникового твёрдого раствора $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (КРТ). Подобные структуры рассматриваются как перспективный материал для создания оптоэлектронных приборов, работающих в интервалах длин волн 3—5 мкм и 8—14 мкм [1, 2].

В настоящей работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований структур КРТ, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии и включающих слои с переменным составом, окружающие активную область с $x \approx 0,3$, и несколько (до трёх) слоёв с повышенным значением состава (до $x \approx 0,9$), образующих высокие барьеры шириной 50—60 нм как для электронов в зоне проводимости, так и для дырок в валентной зоне. Особенностью рассматриваемых структур является то, что расстояние между барьерами, введёнными в активную область, составляет величину порядка 50 нм. Таким образом, между барьерами образуются потенциальные ямы, в которых возможно проявление эффекта размерного квантования и влияние его на характеристики структуры.

В работе приведены экспериментальные и теоретические вольт-фарадные характеристики (ВФХ) рассматриваемых структур, а также результаты моделирования их зонной диаграммы [3]. Экспериментально показано, что наличие барьеров в активном слое оказывает существенное влияние на вид ВФХ.

1. A. M. de Paula, C. R. M. de Oliveira. Interband and intersubband absorption in HgCdTe multiple quantum wells // *Physical Review B*, vol. 59, num. 15 (1999), 10158-10164.

2. E. Monterrat, L. Ulmer, N. Magnea, H. Mariette, J.L. Pautrat, K. Kheng, F. Fuchs. Optical spectroscopy of CdHgTe/CdTe quantum wells and superlattices // *Semicond. Sci. Technol* 8, 261-265(1993).

3. Горн Д.И., Несмелов С.Н., Войцеховский А.В., Коханенко А.П. Расчёт зонных диаграмм варизонных структур КРТ с учётом изменения электронного сродства при изменении состава // *Изв. вузов: Физика*. – 2008. – № 9/3. – С. 134-137.

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

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭМИТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ GaAs(Cs,O)-ФОТОКАТОДА ПО УГЛАМ И ЭНЕРГИЯМ

Д. В. Горшков

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

GaAs-фотокагоды с отрицательным эффективным электронным средством (ОЭС) активно используются на протяжении многих лет. Однако до сих пор недостаточно изучена функция распределения эмитированных электронов ($\rho(\varepsilon, \theta)$) по углам и энергиям. В предыдущих исследованиях измерялись средние значения «продольных» и «поперечных» энергий эмитированных электронов [1]. Этих данных не достаточно для построения физической картины фотоэлектронной эмиссии из GaAs-фотокаатода с ОЭС.

Целями данной работы являются создание новой методики измерения $\rho(\varepsilon, \theta)$ и применение данной методики для изучения фотоэмиссии из p-GaAs(Cs,O)-фотокаатода.

Методика измерения состоит в следующем. Плоский полупрозрачный GaAs-фотокаатод освещается точечным монохроматическим источником света в геометрии на просвет. Возбужденные светом электроны эмитируются из освещенной точки и попадают в однородное электрическое поле между фотокаатодом и плоским анодом, расположенным параллельно фотокаатоду. Измеряются пространственные распределения электронов на поверхности анода $I_e(r)$, где r – радиус вектор от точки эмиссии до точки попадания на анод. Распределение $I_e(r)$

описывается выражением
$$I_e(r) = \iint \rho(\varepsilon, \theta) K(\varepsilon, \theta, U, r) d\varepsilon d\theta,$$
 где

$K(\varepsilon, \theta, U, r)$ - ядро интегрального оператора описывающего движение электрона в однородном электрическом поле, а U – напряжение, приложенное между фотокаатодом и анодом. Для определения $\rho(\varepsilon, \theta)$ с заданной точностью необходимо провести определенное количество измерений $I_e(r)$ при различных значениях U и решать обратную задачу о движении электронов в электрическом поле плоского конденсатора.

В докладе приведены первые результаты определения $\rho(\varepsilon, \theta)$ предложенным методом.

1. S.Pastuszka, D. Kratzmann, D. Schwalm, A. S. Terekhov, and A. Wolf. - Appl. Phys. Lett., 1997, v.71, No.20, p.2967-2969.

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

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА Ta₂O₅: AB INITIO МОДЕЛИРОВАНИЕ

М. В. Иванов

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

Для разработки оперативных запоминающих устройств (ОЗУ) необходимо внедрение диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью (так называемых, high-k диэлектриков). Уменьшение напряжения питания и площади запоминающего конденсатора ячейки требует уменьшения толщины диэлектрического слоя. Однако при этом возрастает ток утечки запоминающего конденсатора. В качестве диэлектрика в конденсаторе долгое время использовался оксид кремния ($\epsilon = 3.9$). Использование high-k диэлектрика позволяет сохранить зарядовую емкость конденсатора при меньшей площади ячейки, что приводит к увеличению информационной емкости ОЗУ. Многообещающим кандидатом на роль диэлектрика в ОЗУ является оксид тантала Ta₂O₅. Ta₂O₅ имеет диэлектрическую проницаемость $\epsilon \approx 25$ в аморфном состоянии и $\epsilon \approx 30-50$ в поликристаллическом состоянии.

Областью исследований настоящей работы являются зонные расчеты электронной структуры δ -Ta₂O₅. Расчеты осуществляются квантово-химическим неэмпирическим методом с использованием программного пакета ESPRESSO, основанного на теории функционала плотности и приближении псевдопотенциалов. В данной работе проводятся численное моделирование идеальной структуры δ -Ta₂O₅ и структуры с кислородной вакансией: расчёт зонного спектра δ -Ta₂O₅, эффективных масс электронов и дырок, анализ полных и парциальных плотностей состояний и сравнение их с экспериментом.

Кристалл δ -Ta₂O₅ является непрямозонным диэлектриком. Рассчитанная ширина запрещенной зоны равна 1.3 эВ. Валентная зона δ -Ta₂O₅ состоит из двух подзон, разделённых ионной щелью. Нижняя зона сформирована, в основном, 2s-состояниями кислорода. Верхняя зона - 2p-состояниями кислорода с вкладом 5d-состояний тантала. Наблюдается сильная анизотропия эффективных масс для электронов - $m_{e\perp} \approx 2.20$, $m_{e\parallel} \approx 0.26$ и дырок - $m_{h\perp} \approx 8.24$, $m_{h\parallel} \approx 0.71$. Изучены зарядовые состояния кислородной вакансии в кристалле. Обнаружено, что вакансия кислорода является центром локализации для электронов и дырок с энергиями локализации 0,23 эВ и 1,36 эВ, соответственно.

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

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ЗОНДОМ АТОМНО-СИЛОВОГО МИКРОСКОПА

А. С. Кожухов

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

Изучение электрофизических свойств поверхности полупроводников является актуальным для понимания возможности создания и использования наноразмерных объектов. Одним из передовых методов для исследования и изменения поверхности является метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) [1]. В отличие от других методов модификации поверхности в оптической, электронно-лучевой, ионно-сфокусированной и рентгеновской литографии, зондовая СТМ нанолитография уже достигла теоретического предела (перемещение единичного атома), а АСМ литография имеет разрешение менее 50 нанометров. Модификация поверхности АСМ методом не вызывает возмущение в соседних областях.

Развитие данной методики требует более детального анализа взаимодействия зонда микроскопа и поверхности в условиях приложения потенциала. Особый интерес представляет возможность переноса заряда на поверхность образца с помощью КСЗМ, при этом необходимо изучение таких характеристик, как время сохранения заряда на поверхности и изменение сопротивления образца. Целью работы являлось исследование особенностей взаимодействия зонда и поверхности в условиях приложения потенциала, а также оптимизация условий модификации поверхности полупроводников.

Исследования проводились стандартными кантилеверами на АСМ Ntegra Aura (NT MDT). Сканирование, модификация и зарядка поверхности GaAs проводились в полуконтактном режиме. Модификация и зарядка поверхности проводились в условиях изменения прижима и разности потенциалов и при различных временах приложения потенциала. Были оптимизированы условия модификации поверхности и получены структуры с масштабом от 50 до 100 нм.

1. Binnig et al., Atomic Force Microscope, Physical Review Letters, 3, Mar. 1986.

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

ЭЛЕКТРОМИГРАЦИЯ АДАТОМОВ НА ПОВЕРХНОСТИ Si(111) ПРИ СУБЛИМАЦИИ И ГОМОЭПИТАКСИАЛЬНОМ РОСТЕ

Т. В. Козлова

Новосибирский государственный университет

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Методами растровой и сверхвысоковакуумной отражательной электронной микроскопии исследованы трансформации профиля мезаструктурированной поверхности кремния в условиях сублимации и гомоэпитаксиального роста. На поверхности образца Si(111) методом локальной модификации сфокусированным ионным пучком галлия создавались прямоугольные канавки размером 1×4 мкм² и глубиной 0,2 – 1,5 мкм. Термический отжиг проходил в сверхвысоковакуумной камере электронного микроскопа пропусканием через образец постоянного или переменного электрического тока. Осаждение кремния осуществлялось в системе плоского капилляра, состоящего из буферного и исследуемого образцов, расположенных на расстоянии 100 – 300 мкм друг от друга.

При термическом отжиге кремниевого образца переменным электрическим током обнаружено симметричное изменение формы канавки. Определены параметры (время отжига – 50 с, температура – 1300°С) для получения атомно-чистой поверхности Si(111). Обнаружена асимметрия профиля канавки после прогрева образца постоянным электрическим током в двух температурных интервалах: 1050 – 1250°С и 1250 – 1350°С. Эти диапазоны совпадают с температурными интервалами эшелонирования ступеней при прогреве подложки пропусканием постоянного электрического тока [1]. Экспериментально получена степенная зависимость величины латерального размывания канавки от ее глубины. Показатель степени равен $0,4 \pm 0,1$ (при температуре 1350°С), что согласуется с теорией [2]. Исследованы трансформации профилей канавок при гомоэпитаксиальном росте на поверхности кремния в диапазоне температур 900 – 1350°С при различных скоростях осаждения. На основе сопоставления экспериментальных результатов с теорией сделан вывод о положительной величине эффективного заряда адсорбированных атомов на поверхности Si (111). Полученные данные свидетельствуют о влиянии процессов электромиграции адсорбированных атомов кремния на изменение профиля структур, созданных на поверхности образца.

1. Latyshev A. V., Aseev A. L., Krasilnikov A. B. and Stenin S.I., Surf.Sci, 1989, V. 213, 157-169

2. S. Stoyanov and V. Tonchev, Phys. Rev. B, 1998, 58, 1590

Научный руководитель – чл.-корр. РАН, проф. А. В. Латышев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВОДИМОСТИ МАКРОСКОПИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНЫХ ДВУМЕРНЫХ СИСТЕМ (ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ)

П. Н. Кропотин

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

Одной из наиболее интенсивно исследуемых областей физики конденсированного состояния в настоящее время является изучение свойств неупорядоченных двумерных систем. Сегодня исследователь имеет возможность создавать и изучать объекты, размеры которых составляют порядка ~ 10 нм, то есть несколько десятков постоянных решётки. В то время, как перколяционная задача о сопротивлении сеток резисторов всесторонне исследована, сетки резисторов с гауссовым разбросом остаются открытой проблемой, при этом именно такая ситуация реализуется в тонких металлических пленках.

На данный момент существует множество соотношений [1], характеризующих двумерные системы, но многие из них составлены в пределе пространственно однородной системы. Цель данной работы заключалась в моделировании заведомо неоднородной двумерной системы и изучении поведения поправок на соотношения, традиционно описывающие такие системы, в зависимости от степени неоднородности.

Основные результаты данной работы состоят в следующем:

1. Разработана модель макроскопически неоднородных двумерных квадратных, ромбических и треугольных систем.
2. Исследована зависимость суммарного тока в зависимости от степени неоднородности системы с гауссовым разбросом сопротивлений, с прямоугольным распределением, а также двухфазной (задача Дыхне [2]) и трёхфазной системы.
3. Предположительно обнаружен дисперсионный интервал, в котором система описывается с помощью гауссовой модели.
4. Получен характер зависимости дисперсии тока от дисперсии сопротивления двумерной системы с гауссовым разбросом сопротивлений.

1. B. L. Altshuler, A. G. Aronov. Electron-Electron Interaction In Disordered Conductors. Electron-Electron Interaction In Disordered Systems. Edited by A. L. Efros M. Pollak. North-Holland, Amsterdam, Elsevier Science, pp.1-153 (1985).

2. А. М. Дыхне, Проводимость двумерной двухфазной системы. ЖЭТФ Т. 59, вып. 7, (1970).

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

ПОГЛОЩЕНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МИКРОБОЛОМЕТРИЧЕСКИХ ФОТОПРИЕМНИКАХ МОСТОВОГО ТИПА

С. В. Макаренко

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

Стремительное развитие технологий в последнее десятилетие позволили приблизить параметры неохлаждаемых матричных микроболометрических приемников к фотонным матричным приемникам. Необходимость охлаждения последних с целью достижения высокой чувствительности, влечет за собой существенное усложнение конструкции, увеличение цены и веса прибора [1].

Разработанные технологии позволяют изготавливать неохлаждаемые матричные микроболометрические фотоприемные устройства (ФПУ) с достаточно высокой чувствительностью как в инфракрасном (ИК), так и в терагерцовом (ТГ) диапазонах. Отечественные микроболометрические ФПУ при формате матриц 320x240 и 160x120 обладают пороговой мощностью 160 пВт/пиксель (в ИК-диапазоне) и 30 нВт/пиксель (в ТГ-диапазоне) и в настоящее время являются единственными высокочувствительными матричными приемниками ТГ диапазона с высоким пространственным и временным разрешением [2].

Целью данной работы является исследование возможностей дальнейшего повышения чувствительности микроболометров, путем выбора оптимального варианта конструкции его оптического резонатора.

В работе расчетным путем исследуются влияние различных конструктивных параметров микроболометров на эффективность поглощения ИК и ТГ излучения. Проводятся измерения коэффициентов пропускания и поглощения слоев нитрида кремния, оксида ванадия и тонких металлических пленок, применяемых в микроболометрах.

В ходе работы был выявлен существенный разброс и невоспроизводимость высоты подвески микроболометров над зеркалом, что приводит к повышенному разбросу их чувствительности. Определены оптимальные значения основных конструктивных параметров.

1. А. Рогальский. Инфракрасные детекторы. Новосибирск: Наука, 2003.

2. М. А. Демьяненко, Д. Г. Есаев, В. Н. Овсяк и др., Матричные микроболометрические приемники для инфракрасного и терагерцового диапазонов. Оптический журнал. Т. 76, № 12, с. 5-11 (2009).

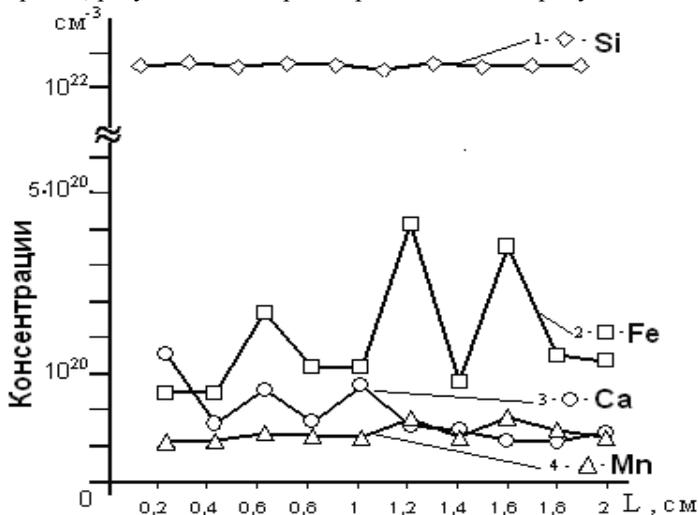
Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук М. А. Демьяненко.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ, ПОЛУЧЕННОМ ПЯТИКРАТНОЙ ПЕРЕПЛАВКОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ НА СОЛНЕЧНОЙ ПЕЧИ

Ш. Т. Маншуоров

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз

По бесхлоридному методу, предложенному в [1], пятикратной переплавкой технического кремния марки КРЗ на открытом воздухе в солнечной печи был получен поликристаллический кремний чистоты 98,7ат.%. Был проведен рентгеноструктурный анализ полученного материала, результаты которого представлены на рисунке.



Распределения концентраций 1-◇-кремния, 2-□-железа, 3-△-кальция и 4-○-магния.

Видно, что распределения всех этих примесей вдоль образца носит периодический характер, что, по-видимому, объясняется развитием процессов саморегулирования (самоорганизации) в данном материале.

1. Саидов А.С., Абакумов А.А., Саидов М.С. Солнечно-радиационная плавка металлургического кремния //Гелиотехника. Ташкент, 2003, №1.- С.96-97.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Ю. Лейдерман.

МАГНЕТО-МЕЖПОДЗОННЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ В GaAs/AlAs ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ

Е. Г. Мозулев

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

Магнетотранспортные явления в высокоподвижных гетероструктурах традиционно исследуются в ситуации, когда в квантовой яме заполнена лишь одна подзона размерного квантования. Связано это с тем, что заполнение второй подзоны приводит к понижению подвижности за счет дополнительного межподзонного рассеяния. Заполнение второй подзоны размерного квантования в квантовой яме приводит к нескольким общеизвестным магнетотранспортным эффектам. В такой электронной системе процессы переноса заряда содержат вклады от двух подзон, а также имеется вклад от межподзонного рассеяния. В диссипативном сопротивлении в сильных магнитных полях вклады от двух подзон проявляются в виде двух серий осцилляций Шубникова – де Гааза, а наиболее ярким проявлением межподзонного рассеяния являются магнето-межподзонные осцилляции [1].

В настоящем работе изучен двухподзонный магнетотранспорт в GaAs квантовых ямах с боковыми AlAs/GaAs сверхрешеточными барьерами. В частности изучены магнетополевые зависимости диссипативного сопротивления и показано, что в них проявляются две серии осцилляций Шубникова – де Гааза и осцилляции, обусловленные магнето-межподзонным рассеянием. В исследуемых гетероструктурах определены концентрации и подвижности свободных электронов, а также величины межподзонного расщепления. Полученные данные согласуются с расчетом.

-
1. Поляновский В. М. ФТП, 2230 (1988)

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

ИЗМЕРЕНИЕ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ, ЭМИТИРОВАННЫХ ИЗ GaAs(Cs,O), ПО ПОПЕРЕЧНЫМ ЭНЕРГИЯМ

М. Э. Мустафин

Новосибирский государственный университет

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

В настоящее время в физике полупроводников существуют недостаточно изученные области в физике эмиссии из GaAs-фотокаатода с эффективным отрицательным средством. Одной из задач в данной области является измерение функции распределения электронов, эмитированных из GaAs(Cs,O)-фотокаатода по углам и энергиям.

Экспериментальные исследования, которые проводились ранее, позволяли определить только средние поперечные составляющие энергий эмитированных электронов [1, 2]. Поэтому для более качественного описания эмиссии из полупроводника важно детальное изучение распределений поперечных компонент энергий эмитированных электронов.

В ИФП СО РАН разработана установка и методика, для определения функции распределения эмитированных электронов по поперечной энергии при фиксированной продольной энергии, которая применялась в данной работе. После эмиссии электроны попадают в тормозящее электрическое поле, которое позволяет отсеять те электроны, продольная энергия которых недостаточна для преодоления потенциального барьера. Далее, пройдя МКП, электроны попадают в ускоряющее электрическое поле и, набрав необходимую энергию, врезаются в люминофор и вызывают свечение. С помощью чувствительной ПЗС-матрицы детектируется свечение люминофора, после обработки изображений которого вычисляется искомая функция распределения.

В настоящей работе вычислены функции распределения электронов по поперечным энергиям при фиксированных продольных энергиях, на основе которых определены средние значения поперечной энергии при фиксированных значениях продольной энергии.

1. G. Vergara, A. Herrera-Gomez and W. E. Spicer, Electron transverse energy distribution in GaAs negative electron affinity cathodes: Calculations compared to experiments. – J. Appl. Phys. 80(3) 1996;

2. S. Pastuszka, D. Kratzmann, D. Schwalm and A. Wolf, A.S.Terekhov Transverse energy spread of photoelectrons emitted from GaAs photocathodes with negative electron affinity – Appl. Physics Letters, 71, 1997, 2967-2969

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЛУПРОВОДНИКОЛВЫХ СТРУКТУР С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ МЕТОДОМ АСМ

Ю. Н. Назарчук, В. А. Новиков
Томский государственный университет

Изучению полупроводниковых диодов с барьером Шоттки (ДБШ) посвящено множество исследовательских работ, однако в основном они описывают поведение вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик. Современные зондовые микроскопы позволяют наряду с этими данными получать дополнительную информацию о распределении и поведении электрических характеристик данных объектов. Исследование распределения поверхностного потенциала методом зонда Кельвина позволяют получить новые данные о перераспределении заряда в системе металл-полупроводник с барьером Шоттки.

В работе исследовались ДБШ созданные методом электрохимического осаждения контактов Au, Pd на подложку n-GaAs, а также методом напыления контактов Au, Ti из газовой фазы на подложку n-GaAs. Все измерения проводились на атомно-силовом микроскопе (АСМ) «Solver HV».

Из АСМ изображений распределений поверхностного потенциала были получены значения скачка поверхностного потенциала на границе металл-полупроводник ($\Delta\text{КРП}$). Построены зависимости перепада поверхностного потенциала от размеров диода и толщин металлизации.

Зависимости носят сходный характер. Независимо от типа металла и способа осаждения (Au, Pd, Ti) наблюдается резкое почти линейное увеличение $\Delta\text{КРП}$ с увеличением диаметра ДБШ от 3 мкм до 100 мкм. Дальнейшее увеличение диаметра диода слабо влияет на данную величину.

Были проведены и получены аналогичные результаты для изменения $\Delta\text{КРП}$ от толщины металлизации ДБШ. Зависимости носят сходный характер, присутствует область резкого возрастания $\Delta\text{КРП}$ вплоть до толщины металлизации 0,2 мкм. Дальнейшее увеличение толщины металла практически не изменяет измеряемую величину.

Исследования показали, что основной вклад в изменение перепада поверхностного потенциала вносит область поверхности металла, в то время как поверхностный потенциал полупроводника практически не изменяется. Эти данные необходимо учитывать при разработке полупроводниковых приборов на субмикронном и наноразмерном уровне.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук И. В. Ивонин.

ИЗУЧЕНИЕ АТОМНОЙ И ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ АМОРФНОГО НИТРИДА КРЕМНИЯ

С. С. Некрашевич

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

В настоящее время широкое распространение получили устройства энергонезависимой flash-памяти на основе аморфного нитрида кремния. В основе принципа действия этих устройств лежит эффект памяти нитрида кремния – способность локализовать заряд на ловушках в течении длительного времени. Природа ловушек, ответственных за эффект памяти в нитриде кремния до сих пор остается невыясненной. Одной из гипотез, объясняющих природу ловушек, является модель, предлагающая Si-Si связь в качестве центра захвата электронов и дырок. В качестве модели Si-Si связи для расчетов ранее была предложена вакансия азота в кристаллическом β - Si_3N_4 , насыщенная водородом. Расчеты показали возможность захвата на полученный дефект как электрона так и дырки. Тем не менее, данный дефект нельзя рассматривать как Si-Si связь в «чистом» виде, т.к. рассчитанное пространственное распределение захваченного заряда показало локализацию и в области Si-Si связи, и вблизи атома водорода. В стехиометрическом составе нитрида кремния каждый атом кремния координирован четырьмя атомами азота, а каждый атом азота имеет по три связи с атомами кремния. Этот факт в принципе не позволяет проанализировать «чистую» Si-Si связь. Для получения более достоверной модели Si-Si связи проводится моделирование атомной и электронной структуры аморфного нитрида кремния и дефектов в нем.

С помощью метода молекулярной динамики Кар-Паринелло проводилось моделирование аморфной фазы нитрида кремния путем расплава кристаллического Si_3N_4 с последующим охлаждением. Важным этапом решения поставленной задачи стала оптимизация описанной процедуры для использования именно ab-initio молекулярной динамики, т.к. последняя представляет собой затратную с точки зрения вычислительных ресурсов задачу.

Для полученных структур была рассчитана функция радиального распределения и функция парной корреляции для нескольких характерных для нитрида кремния дефектов. Была исследована плотность состояний аморфного нитрида кремния и вклад в неё дефектных состояний. Полученные в аморфной структуре дефекты были исследованы на предмет возможности захвата носителей заряда.

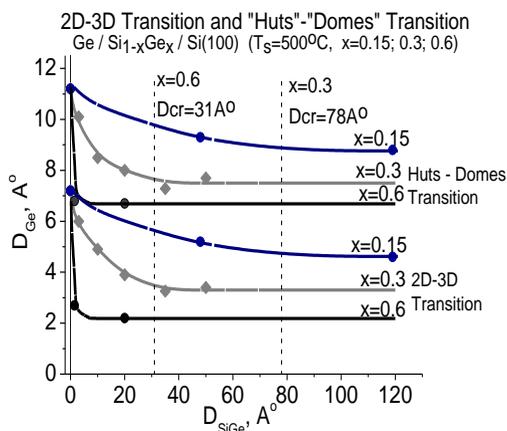
Научные руководители - д-р физ.-мат. наук В. А. Гриценко,
А. В. Шапошников.

ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТА Ge НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО РАСТВОРА Ge_xSi_{1-x} МЕТОДОМ ДБЭ

А. И. Никифоров, В. А. Тимофеев, В. В. Ульянов
Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Интерес к исследуемой структуре, а именно островкам германия на поверхности, вызван расширением возможности управления зонной диаграммой. Сочетание квантовых ям (Ge_xSi_{1-x}) и квантовых точек Ge позволяет конструировать желаемую конфигурацию зонной диаграммы для электронов и дырок.

Одним из основных методов исследования *in situ* при молекулярно-лучевой эпитаксии является дифракция быстрых электронов. С помощью этого метода открывается возможность контроля за ростом Ge на



поверхности Ge_xSi_{1-x} . Путем анализа интенсивности и формы рефлексов картины ДБЭ в процессе роста германия на твердом растворе наблюдались морфологические переходы в слое Ge: 2D-3D и "hut"- "dome", - характерные для осаждения германия на $Si(001)$, но появляющиеся раньше по времени за счёт усиления влияния упругих напряжений, вызванных присутствием Ge_xSi_{1-x} .

Результатом проведенных экспериментов является семейство кривых, отражающих зависимость критической толщины от толщины твердого раствора. Наблюдаемая нелинейность связана с усилением упругих деформаций и увеличением энергии напряжения. Выход на насыщение критических толщин, по-видимому, является следствием изменения напряжений в гетеросистеме, содержащей твердый раствор Ge_xSi_{1-x} и слой осаждаемого Ge.

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

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛА ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА В НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПОЛЯХ

Д. С. Нифашев

Амурский государственный университет, г. Благовещенск

Одним из наиболее распространенных методов изучения диэлектрических свойств сегнетоэлектриков является изучение процессов переключения кристаллов в переменных электрических полях.

Сегнетоэлектрические кристаллы характеризуются определенным временем внутренних релаксационных процессов. В частности это относится к процессу переполяризации кристаллов. Процесс переключения кристалла происходит при приложении к кристаллу переменного электрического поля с периодом большим, чем время релаксационных процессов в кристаллах [1].

На кристалл триглицинсульфата подавалось переменное электрическое поле с амплитудой от -120 В до $+120$ В и частотой от $0,01$ Гц до $1,2$ Гц. Вид сигнала представлял собой трапецию. С помощью самописца были получены зависимости силы тока от напряженности приложенного поля $I(E)$.

Обнаружено, что при повышении частоты наблюдается изменение формы зависимости кривой $I(E)$ и смещение максимума вправо. При возрастании частоты сигнала происходит уменьшение амплитуды и размытие максимума.

С увеличением частоты возрастает число кратковременных импульсов, которые сопровождают процесс появления доменов другого знака (импульсы переходного тока) и называются импульсами Баркгаузена [2].

На частотах чуть выше $1,2$ Гц наблюдается рост количества импульсов Баркгаузена, в результате чего невозможно получить четкую зависимость $I(E)$. Данную зависимость можно получить на более высоких частотах.

1. М. Лайнс, А. Глас Сегнетоэлектрики и родственные им материалы // 736с, «Мир», Москва 1981г.

2. Шильников А. В., В. А., Шувалов Л. А., О вкладе различных механизмов движения доменных границ в эффективную диэлектрическую проницаемость кристаллов триглицинсульфата // ФТТ.- 2001. – Т 54. – № 8 – С.1516–1519.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. Б. Копылова.

ПРЫЖКОВАЯ ПРОВОДИМОСТЬ В МЕЗОСКОПИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ Ge В Si ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

И. В. Осинных

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

Доминирующим механизмом переноса заряда в массиве туннельно-связанных (с плотностью массива $> 10^{11} \text{ см}^{-2}$) квантовых точек Ge в Si при низкой температуре ($< 20 \text{ K}$) является прыжковая проводимость дырок по локализованным состояниям. Если размеры образца становятся меньше характерного размера однородности системы (радиуса корреляции перколяционной сетки прыжковой проводимости), возникают новые явления, называемые мезоскопическими. В этом случае электрические характеристики системы не самоусредняются по большому количеству случайных конфигураций путей протекания тока, и свойства системы существенно отличаются от свойств макроскопического образца. В мезоскопическом режиме происходит «самоорганизация» токовых путей таким образом, что их становится порядка единицы. Т.е. электроны в процессе своего движения выбирают редко встречающиеся, но обладающие аномально большой проводимостью цепочки локализованных состояний. Особенностью мезоскопических объектов является изменение их свойств под действием внешних воздействий, что позволяет следить за элементарными электронными перестройками системы. В данной работе исследованы мезоскопические флуктуации прыжковой проводимости в системе с квантовыми точками Ge в Si под влиянием освещения малыми потоками света с длиной волны 1,55 мкм. Размеры образцов, изготовленных с помощью электронной литографии, варьировались в диапазоне 50–500 нм. Если в макроскопических образцах величина эффекта фотопроводимости составляет 10–15 % после длительного освещения, то в мезоскопических образцах величина флуктуаций зависела от размера и геометрии образцов и достигала 50–60 % для одного переключения. Величина и количество переключений определялись при анализе производной проводимости по времени. Показано, что изменение интенсивности освещения приводит к линейному изменению количества флуктуаций, как и ожидается для случая однофотонных процессов. В рамках представлений о существовании одномерных цепочек локализованных состояний, шунтирующих перколяционный кластер, проанализированы функции распределения логарифма проводимости для образцов с разными размерами и геометрией проводящего канала.

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук, доцент Н. П. Стёпина.

АТОМНЫЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОВЕРХНОСТИ Cs/Sb/GaAs(001)

П. А. Половодов

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

Управление атомной структурой поверхности полупроводников представляет интерес как для научных исследований в физике поверхности, так и для создания вакуумных полупроводниковых приборов, в частности, р-GaAs фотокатодов, активированных цезием и кислородом до состояния отрицательного электронного сродства. Структуру поверхности можно изменять с помощью изовалентного замещения поверхностных атомов. Для GaAs подходящим изовалентным заместителем мышьяка является сурьма. Сурьма имеет больший ковалентный радиус, чем мышьяк, и поэтому не диффундирует в объём полупроводника, замещая только атомы мышьяка на поверхности. Кроме того, сурьма используется для защиты от загрязнений и окисления поверхности GaAs в атмосфере. После удаления защитного слоя прогревом в вакууме, на поверхности остаются субмонослойные покрытия сурьмы, и все это влияет на атомную структуру поверхности. Цель данной работы состоит в экспериментальном исследовании эволюции атомной структуры реконструированных поверхностей GaAs (001) при адсорбции и термодесорбции субмонослойных покрытий сурьмы и цезия.

Состав и атомная структура поверхности определялись методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и дифракции медленных электронов, соответственно. При адсорбции и последующей термодесорбции сурьмы наблюдалась конверсия Ga-стабилизированной поверхности с реконструкцией (4×2) в Sb-стабилизированную с реконструкцией (2×4) . Обнаружено, что при нанесении цезия Sb-стабилизированная поверхность более устойчива к разупорядочению по сравнению с As-стабилизированной поверхностью. Прогрев разупорядоченной Sb-стабилизированной поверхности с цезиевым покрытием $\sim 1 \text{ ML}$ при температуре $350 \text{ }^\circ\text{C}$ приводит к появлению структуры (1×4) . При повышении температуры прогрева до $T = 450 \text{ }^\circ\text{C}$ эта структура переходит в (2×6) , которая сохраняется вплоть до $T \sim 550 \text{ }^\circ\text{C}$. Такое поведение качественно отличается от ранее наблюдавшегося цезий-индуцированного перехода от As-стабилизированной поверхности (2×4) , к Ga-стабилизированной поверхности (4×2) .

Научные руководители - д-р физ.-мат. наук, проф. В. Л. Альперович,
А. Г. Журавлев.

ВЛИЯНИЕ ДИСКРЕТНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА НА СИЛОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Н. С. Пщелко, Н. П. Сидорова
Санкт-Петербургский государственный горный институт
(технический университет)

В технических приложениях часто необходим вывод формул для зависимости напряженности электростатического поля от расстояния до заряженного объекта. При этом обычно применяется «классическая» модель непрерывного распределения заряда по поверхности тела. В работе предложена модель дискретного распределения электрического заряда. Эта дискретность обусловлена конечным значением величины заряда электрона и дополнительно обусловлена преимущественной локализацией элементарных зарядов вблизи дефектов структуры диэлектрика. Исследование влияния дискретности заряда на напряженность электростатического поля и пондеромоторное давление выявило значительные отличия от «классических» результатов, в частности, на расстояниях, порядок величины которых соответствует межэлектродным зазорам, используемым в электроадгезионном способе соединения материалов [1]. Это обстоятельство позволяет объяснить некоторые экспериментальные факты и уточнить значения многих расчетных величин.

Рассмотрены случаи распределения зарядов в плоскости и в слое конечной толщины. Точное выражение для исследуемой величины можно получить только численными методами с использованием теории рядов. К более компактному аналитическому виду конечных выражений можно прийти, используя приближенную оценку суммы ряда. Определены границы применимости «классических» формул для подсчета зависимости напряженности электростатического поля от расстояния до заряженного объекта. Результаты вычислений показывают, что в электроадгезионной системе проводник – ионный диэлектрик расчетная величина пондеромоторного давления увеличивается по сравнению с «классическим» значением, что лучше соответствует экспериментальным данным.

1. В. С. Нагорный, Н. С. Пщелко, Н. П. Сидорова. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. «Информатика, телекоммуникации, управление».- 2009, № 6, С. 166–170.

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

ФОТОТЕПЛОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В pSi-n(ZnSe)_{1-x-y}(Si₂)_x(GaP)_y СТРУКТУРЕ

У. Х. Рахмонов

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз

В данной работе приведены результаты исследований фототепловольтаического эффекта pSi-n(ZnSe)_{1-x-y}(Si₂)_x(GaP)_y (0 ≤ x ≤ 0.03, 0 ≤ y ≤ 0.09) гетероструктур. Структуры изготавливались выращиванием на pSi-подложках пятикомпонентного эпитаксиального слоя твердого раствора (ZnSe)_{1-x-y}(Si₂)_x(GaP)_y методом жидкофазной эпитаксии из ограниченного объема оловянного раствора-расплава. Эпитаксиальные слои имели n-тип проводимости.

В темноте и на свете измерялись температурные зависимости тока короткого замыкания и напряжения холостого хода. В темноте, начиная с 30 °С, в структурах появляется ток (рис.1.а, кривая 1) и напряжение (рис.1.б, кривая 1). С ростом температуры значение тока и напряжения монотонно возрастают и при 100 °С достигает 0,86 мкА/см² и 2,44 мВ, соответственно. Возникновение тока и напряжения в pSi-n(ZnSe)_{1-x-y}(Si₂)_x(GaP)_y структуре при нагреве в темноте, по-видимому, обусловлено тепловой генерацией электронно-дырочных пар и разделением их полем р-п перехода.

Когда нагрев структур производился в интегральном свете, с ростом температуры также наблюдалось монотонное возрастание значение тока (рис.1.а, кривая 2) и напряжения (рис.1.б, кривая 2) и при 100 °С достигало 0,94 мкА/см² и 2,66 мВ, соответственно. Параллельное воздействие тепла и света на структуру усиливает генерацию электронно-дырочных пар, что соответствует повышению кривых тока и напряжения.

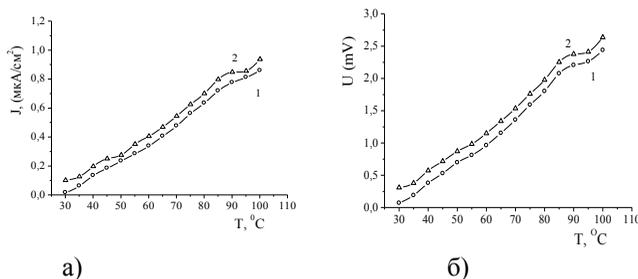


Рис.1. Зависимость тока короткого замыкания (а) и напряжения холостого хода (б) pSi-n(ZnSe)_{1-x-y}(Si₂)_x(GaP)_y гетероструктуры от температуры в темноте (1) и при интегральном свете (2).

Научный руководитель - проф. А. С. Саидов.

ПЕРЕСТРОЙКИ АТОМНЫХ СТУПЕНЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ Si(111) ПРИ СУБМОНОСЛОЙНОМ ОСАЖДЕНИИ МЕДИ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Д. И. Рогило

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

В настоящее время одним из актуальных направлений развития нанотехнологий является поиск новых способов управления процессами формирования морфологии поверхности полупроводников. В частности, интерес представляет изучение влияния формирования металлических наноструктур на атомно-чистой поверхности кремния при высокой температуре на атомные процессы, приводящие к перестройке её морфологии. Ранее было показано, что напыление субмонослойных покрытий золота существенно влияет на процесс эшелонирования ступеней (самоорганизация скоплений-эшелонов моноатомных ступеней либо системы эквидистантно расположенных ступеней в определённых диапазонах температур), механизм которого до конца не ясен [1]. При высоких температурах ($T > 1000$ °C) медь, в отличие от золота, формирует силицидные фазы. Их роль в изменении эффекта эшелонирования пока не ясна и может быть определена из сравнения результатов с экспериментами по адсорбции золота.

В данной работе изучаются перестройки морфологии поверхности Si(111) в условиях непрерывного потока атомов меди на поверхность при высоких температурах (> 1000 °C), когда реализуются эффекты формирования и распада эшелонов на ступенчатой поверхности. Высокие потоки меди, необходимые для создания достаточной концентрации меди в условиях её быстрой диффузии в объём, реализовано за счёт особой конструкции держателя образца. *In situ* анализ поверхности проводится методом сверхвысоковакуумной отражательной электронной микроскопии, позволяющей визуализировать такие элементы поверхности, как ступени высотой в одно межплоскостное расстояние, дислокации и двумерные островки.

Представлены результаты о перестройках морфологии, происходящих на поверхности Si(111) при высокотемпературной адсорбции меди (> 1000 °C).

1. S .S. Kosolobov, Se Ahn Song, E. E. Rodyakina, A. V. Latyshev. Initial stages of gold adsorption on silicon stepped surface at elevated temperatures. // ФТП. – (2007). – V. 41. – P. 462.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Л. И. Федина.

ВЛИЯНИЕ ФОТОННОГО ПЕРЕНОСА НА ТРАНСПОРТ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ В p^+ -GaAs(Cs,O) ФОТОКАТОДАХ

С. А. Рожков

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

Фотонным переносом (ФП) называется перенос неравновесных носителей заряда, обусловленный фотоактивным поглощением собственной люминесценции [1]. Несмотря на длительное (около 50 лет) исследование процессов самопоглощения в прямозонных полупроводниках, их влияние на характеристики p^+ -GaAs(Cs,O) фотокатодов (ФК), такие как квантовая эффективность, функция передачи точки и время отклика, в специализированной литературе освещено недостаточно. Для получения данных о влиянии самопоглощения люминесценции на характеристики ФК сначала необходимо исследовать её влияние на транспорт неравновесных электронов в стандартных ФК гетероструктурах.

Экспериментальной методикой исследования являлось измерение зависимостей фототока в электролит J_{ph} из стандартных ФК $Al_{0.6}Ga_{0.4}As/GaAs$ и специальных $Al_{0.6}Ga_{0.4}As/GaAs/Al_{0.6}Ga_{0.4}As/GaAs$ гетероструктур от толщины d активных слоев GaAs [2]. Гетероструктуры выращивались методом MOCVD, легировались Zn. Концентрация свободных дырок p в активных слоях для разных структур изменялась в диапазоне от $2 \cdot 10^{18}$ до $2 \cdot 10^{19}$ $см^{-3}$. Теоретический расчет $J_{ph}(d)$ производился методом Монте-Карло. «Механический» перенос неравновесных электронов рассматривался в рамках диффузионного приближения, распространение люминесцентного излучения описывалось в рамках геометрической оптики.

Сравнение измеренных зависимостей $J_{ph}(d)$ с результатами расчетов позволило определить параметры активных слоев гетероструктур: длины диффузии неравновесных электронов L_n , внутренней квантовой эффективности люминесценции W_{int} и скорости рекомбинации S_{int} на интерфейсе $Al_{0.6}Ga_{0.4}As/GaAs$. Для данных структур $W_{int} \sim (70-80) \%$, $S_{int} \leq 5 \cdot 10^4$ $см/с$, а L_n увеличивается от ~ 2 до ~ 4 $мкм$ при уменьшении степени легирования. Пренебрежение ФП в расчетах приводило к завышенным в ~ 2 раза значениям L_n , что доказывает необходимость учета ФП в транспорте неравновесных электронов в ФК гетероструктурах.

-
1. Е. Д. Карих, А. Ф. Шилов. - ЖПС, 1984, Т. XLI, в. 3, с. 357 – 373.
 2. Г. Э. Шайблер и др. – Конференция «Полупроводники-2009».

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Г. Э. Шайблер.

ФОТОПРОВОДИМОСТЬ КРИСТАЛЛОВ СИЛЛЕНИТОВ

Д. О. Сивун, Р. В. Киселев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Кристаллы класса силленитов $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ (BGO), $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) и $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ (BTO) обладают фоторефрактивными свойствами и значительной фоточувствительностью в видимой области спектра, что позволяет использовать их в устройствах оптической обработки информации [1]. Максимум фоточувствительности приходится на синю - зеленую область спектра и соответствует плечу в спектре оптического поглощения [2,3].

В работе представлены результаты исследований фотопроводимости в легированном алюминием и фосфором монокристалле силиката висмута ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}:\text{Al},\text{P}$) при воздействии на образец с электродами планарной конструкции из Al лазерного излучения с длиной волны 532 и 526,5 нм. Зазор между электродами составлял 4 мм при толщине образца 1 мм.

При исследовании динамики фотопроводимости на длине волны 526,5 кристалл подвергался воздействию импульсами с длительностью 10 нс и частотой следования 10 кГц при приложенном напряжении 4 кВ. Было получено, что за время, равное 35 мкс, фотопроводимость достигает максимального значения, после чего спадает до начального состояния в течение 500 мкс.

Семейство вольтамперных характеристик измерено для непрерывного излучения ($\lambda = 532$ нм) в диапазоне приложенных напряжений от 500 до 4000 В для интенсивностей света 4,1; 4,8 и 5,5 мВт/см². Было обнаружено, что для всех значений интенсивности света с ростом напряжения ток увеличивается по квадратичному закону.

Работа выполнена при поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)».

1. Петров М. П., Степанов С. И., Хоменко А. В. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. – СПб.: Наука, 1992. 318 с.

2. Малиновский В. К., Гудаев О. А., Гусев В. А., Деменко С. И. Фотоиндуцированные явления в силленитах. Новосибирск: Наука. 1990. 160 с.

3. Transport processes of photoinduced carriers in $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ / Hou S. L., Lauer R. B., Aldrich R. E. // J. Appl. Phys. 1973. Vol. 44, N 6. P. 2652-2658.3. V. S.

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

ДВИЖЕНИЕ ИЗОГНУТЫХ СТУПЕНЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ Si(111) ПРИ СУБЛИМАЦИИ И ЭПИТАКСИАЛЬНОМ РОСТЕ

С. В. Ситников

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

In situ методом сверхвысоковакуумной отражательной электронной микроскопии (СВВ ОЭМ) исследована кинетика движения моноатомных ступеней, ограничивающих концентрические двумерные отрицательные островки, на поверхности Si(111) в интервале температур 870-1300°C при сублимации и эпитаксиальном росте.

На поверхности образца кремния вытравливалась лунка глубиной 5-20 мкм с помощью ионно-лучевого травления низкоэнергетичными ионами аргона (1-4 кэВ). Далее образцы помещались в камеру СВВ ОЭМ, где в процессе высокотемпературного отжига (1300°C) на дне лунки формировались концентрические ступени, ограничивающие отрицательные двумерные островки.

Определены зависимости среднего диаметра островков (d) от времени при различных температурах на начальных стадиях роста островка. Обнаружено, что в интервале температур 830–1010°C – $d \sim t^{1/3}$, а при 1010–1200 °C – $d \sim t^{1/2}$. Это означает, что при низких температурах эволюция двумерного островка определяется диффузией атомов по поверхности кристалла, а при высоких - размер островка лимитируется процессами взаимодействия атомов на границе островка. На рис. 1 представлено типичное АСМ-изображение двумерного отрицательного островка, сформировавшегося в процессе сублимации на широкой террасе при

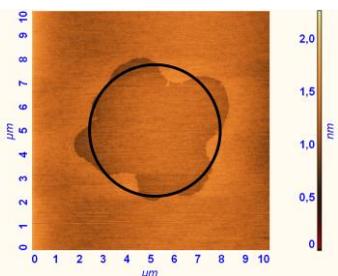


Рис. 1. Двумерный отрицательный островок, образовавшийся в процессе сублимации на широкой террасе.

температуре образца 1050 °C. Отклонение формы ступени от окружности может быть связано с немонотонным изменением коэффициента линейного натяжения ступени. Установлено влияние температуры и пересыщения при осаждении из внешнего источника на форму моноатомной ступени. Полученные результаты обсуждаются в рамках механизмов массопереноса по поверхности.

Научный руководитель – чл.-корр. РАН, проф. А. В. Латышев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В СЛОЕ АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПОТОКОМ

Е. В. Скробов

Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники

Электронно-лучевая обработка представляет собой перспективный метод модификации поверхностных свойств керамических материалов [1]. Эффективность обработки во многом определяется характером распределения температуры по глубине материала. Цель настоящей работы состояла в расчете температурного распределения на основе решения нестационарного уравнения теплопроводности с источником.

Решение проведено численно с учетом возможности фазовых переходов «твердое состояние – жидкость» и «жидкость – пар», реализованной с использованием δ -функции Дирака [2]. Для этого был разработан программный код, позволяющий учесть ее наличие. Расчеты проведены для алюмооксидной керамики типа ВК95. В качестве входных параметров были выбраны плотность тока ($1\text{--}10\text{ А/см}^2$), энергия ($10\text{--}15\text{ кэВ}$) электронного пучка, длительность (36 мкс) и количество импульсов ($1\text{--}1000$), частота следования (1 Гц).

Полученные профили позволяют сделать ряд заключений. За время между импульсами распределение температуры становится однородным. Достигнутое значение температуры повышается по мере набора импульсов. В зависимости от выбранных параметров кривая распределения температуры к концу импульса оказывается либо монотонно спадающей, либо содержащей участки постоянной температуры, соответствующие фазовым переходам. Во всех случаях толщина расплавленного слоя не превышала 2 мкм , что связано с уносом материала вследствие его испарения. Указанное обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что для увеличения глубины модифицированной области предпочтительнее использовать увеличение количества импульсов, а не повышение энергии пучка в импульсе.

1. В. А. Бурдовицин, А. С. Климов, Е. М. Окс, О возможности электронно-лучевой обработки диэлектриков плазменным источником электронов в форвакуумной области давлений, Письма в ЖТФ том 35, 11 (2009).

2. D. Wu, C. Liu, X. P. Zhu, M. K. Lei, Numerical study on modification of ceramic coatings by high-intensity pulsed ion beam, Vacuum 83, (2009).

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

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТРИЧНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ

В. С. Солдаткин, Н. В. Амбарникова

Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

В связи с бурным развитием полупроводниковой светотехники в России за последние годы, появилась необходимость в новом подходе конструирования источников света [1]. В настоящее время наиболее широко используется так называемые светодиодные кластеры – устройства, представляющие сборки необходимого количества светодиодов. Другой вариант осветительных устройств – это использование интегральных матриц. Здесь две конструкции:

– гибридная интегральная матрица, представляющая собой сборку чипов на теплопроводящей подложке.

– монолитная интегральная матрица, изготовленная в виде локальных излучающих элементов на одной эпитаксиальной пластине.

В докладе анализируются особенности кластерной и матричной технологии создания полупроводниковых светотехнических устройств.

Принципиальное отличие интегральных полупроводниковых матриц от матриц из СД кластеров заключается в монолитной конструкции изделия и бескорпусных элементов в ней. Эти особенности интегральной полупроводниковой матрицы позволяют существенно увеличить её надёжность с точки зрения как единичного элемента, сформировать более плотный излучение и более высокий световой поток. Основным недостатком является сложность получения равномерного распределения цветности. При применении схемы питания от переменной сети интегральной полупроводниковой матрицы с учётом близкого расположения чипов друг с другом и рассеяния излучения на выходе из матрицы за счёт люминофора, пульсации излучения будут менее заметны. Следовательно снизится стробоскопический эффект в освещении.

1. Шуберт Ф.Е. Светодиоды / Пер. с англ. под. ред. А. Э. Юновича – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2008 – 496с.

Научный руководитель – д-р техн. наук А. А. Виллисов.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СВЕТОДИОДЫ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

В. С. Солдаткин, Н. В. Амбарникова, К. В. Тепляков
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

В настоящее время рынок светодиодной промышленности переполнен импортной продукцией. В соответствии с планом Президента РФ о модернизации, в рамках направления энергосбережения, быстрыми темпами развиваются отрасли народного хозяйства, занимающиеся производством энергосберегающего освещения. Создана среда для развития быстрыми темпами науки и техники. Особое место на рынок светодиодной промышленности занимают светодиоды (СД) для поверхностного монтажа. Это обусловлено пригодностью данных СД к автоматизированному монтажу в устройства. Область применения СД для поверхностного монтажа весьма широка, с помощью этих СД можно изготавливать различные светотехнические [1]. В докладе обсуждаются результаты разработки серии СД для поверхностного монтажа (красные, жёлтые, зелёные, синие, белые), освоенные серийным производством в ОАО «НИИПП» и используемые для производства различных светотехнических устройств. СД для поверхностного монтажа изготавливают в керамических корпусах и в пластмассовых корпусах (керамические корпуса обладают лучшим теплоотводом по сравнению с пластмассовыми и используются для изготовления мощных СД или СД с высокими показателями надёжности, соответственно обладают более высокой себестоимостью. Чип монтируется в корпус. Существует три типа чипов. Планарные - катод и анод на одной плоскости. Вертикальные чипы “Сэндвич” - катод с анодом на противоположных друг от друга плоскостях. Чипы для монтажа методом “flip-chip” анод с катодом на одной плоскости; на контактах припой, конструктивно выделенный на поверхности чипа; излучение выводится через плоскость, противоположную плоскости с контактами. Чип заливают компаундом, помимо защиты заливка компаундом формирует диаграмму направленности излучения. Одним из методов получения белого свечения СД, является нанесение на чип люминофора. Это метод, самый массово применяемый, позволяет существенно снизить себестоимость СД.

1. Нинг-Ченг Ли, Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и flip chip технологии, Москва 2006.

Научный руководитель – д-р техн. наук А. А. Виллисов.

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ИНЖЕКЦИИ И АКУМУЛЯЦИИ В P-N-N⁺ СТРУКТУРАХ НА ПРОТЯЖЁННОСТЬ УЧАСТКА ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ С ОБРАТНЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

В. Г. Стельмах

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз

Процесс диффузионно-дрейфового транспорта носителей заряда в p-n-p⁺ структурах в условиях, когда амбиполярная скорость дрейфа определяется модуляцией заряда глубоких центров прилипания, описан в [1,2] уравнением для концентрации неравновесных носителей. В этом уравнении помимо диффузионного и рекомбинационного членов содержится дрейфовый член, пропорциональный плотности силы тока, идущей через p-n-p⁺ структуру.

В условиях, когда инжекция интенсивнее аккумуляции в p-n-p⁺ структурах, происходит совпадение по направлению диффузионного и дрейфового потоков неравновесных носителей. В этом случае при определённых значениях плотности тока возможно зарождение процесса, в результате которого на вольтамперной характеристике (ВАХ) p-n-p⁺ структур появляется участок с обратным дифференциальным сопротивлением (ОДС). Это ОДС описывается зависимостью напряжения U от плотности тока J вида $U \sim \exp(K/J)$, где K – коэффициент, зависящий от свойств конкретной структуры [1].

В работе, используя понятие пограничного слоя [3], было приближённо решено уравнение для концентрации неравновесных носителей. Точность полученного решения оказалось тем лучше, чем больше отношение уровня инжекции к уровню аккумуляции в p-n-p⁺. Исходя из необходимого условия возникновения ОДС и свойств полученного приближённого решения, были получены зависимости протяжённостей по току и напряжению участка ВАХ с ОДС от отношения уровня инжекции к уровню аккумуляции в p-n-p⁺.

Работа выполнена в рамках гранта Ф2-Ф027+Ф028 фундаментальных исследований АН РУз.

1. Э.И. Адирович, П.М. Карагеоргий-Алкалаев, А.Ю. Лейдерман. Токи двойной инжекции в полупроводниках (М. Сов. Радио. 1978).

2. A. Yu. Leyderman, P.M. Karageorgy-Alkalaev, Sol.St.Com., 27, 339-345 (1976)

3. Дуллан Э., Миллер Дж., Шилдерс У. Равномерные численные методы решения задач с пограничным слоем (Москва, Мир, 1983).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Ю. Лейдерман.

ВЛИЯНИЕ ТОПОЛОГИИ ОМИЧЕСКОГО КОНТАКТА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ ЧИПОВ

К. В. Тепляков, А. А. Вилисов, Г. Н. Захарова, Н. В. Амбарникова
ОАО «НИИ полупроводниковых приборов»

На сегодняшний день выпускаются светодиоды (СД) с малой и высокой интенсивностью излучения. Для СД с малой интенсивностью излучения считается вполне достаточной круглая форма омического контакта. [1]. Выбор формы омических контактов становится более сложной задачей, требующей компромиссных решений, для СД высокой интенсивности излучения. Сложность данной задачи состоит в том, что для увеличения эффективности генерации излучения необходимо увеличить площадь омического контакта; с другой стороны, при увеличении площади омического контакта уменьшается площадь вывода излучения из чипа [1]. Данная задача становится все более сложной и актуальной при протекании больших токов из-за эффекта стягивания тока («Current Crowding») [1]. В докладе приводятся результаты исследований СД красного цвета свечения с разветвленной топологией омического контакта на излучающей поверхности.

Исследовались чипы трех вариантов: пятно диаметром 50 мкм с четырьмя радиальными полосками шириной 14 мкм (вариант «А»); вариант «А» с одной рамкой по периферии (вариант «В»); вариант «А» с двумя рамками по периферии (вариант «С»). Результаты измерений представлены в таблице 1. Стоит также отметить, что у кристаллов С-типа коэффициент идеальности вольтамперной характеристики близок к единице, в то время, как у кристаллов А-типа он составляет в среднем 2, а у В-типа – 6.

Таблица 1 – Результаты измерения трех кристаллов.

Кристалл	Ток, мА	Напряжение, В	Мощность, мВт	Сила света, кд	угол, градусы	Свет. Поток, лм	Свет. отдача, лм/Вт
А	350	3	1,05	16,8	48	13,3	12,667
В	350	4,9	1,715	12	59	13,3	7,7551
С	350	3,4	1,19	9,4	65	14,8	12,437

1. Шуберт Ф.Е. Светодиоды / Пер. с англ. под. ред. А.Э. Юновича – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2008 – 496с.

Научный руководитель – д-р техн. наук А. А. Виллисов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ В ТРОЙНОМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ СОЕДИНЕНИИ $ZnGeP_2$.

К. С. Титов

Томский государственный университет

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

$ZnGeP_2$ – полупроводник из группы $A^{IV}B^{IV}C_2^V$ со структурой халькопирита, обладающий уникальными нелинейно-оптическими свойствами. Наиболее сильное преимущество кристаллов $ZnGeP_2$ проявляется при параметрической генерации света (ПГС), что позволяет создавать перестраиваемые когерентные источники света в спектральной области 3-8 мкм при накачке кристаллов лазерным излучением с длиной волны ~ 2.05 мкм. Одним из основных факторов, ограничивающих широкое применение $ZnGeP_2$ как ПГС, является оптическое поглощение в области длин волн накачки, обусловленное собственными точечными дефектами, которые достаточно хорошо изучены для данного материала. Дефекты более высокой размерности, такие как дислокации, полосы роста и включения, изучены слабо, их взаимодействие и связь с точечными дефектами не установлена.

Цель данной работы – представить результаты по исследованию дефектов структуры кристаллов $ZnGeP_2$, выращенных методом Бриджмена в вертикальном варианте.

Кристаллы $ZnGeP_2$ номинально стехиометрического и нестехиометрических составов исследовались методами микроскопии и рентгеновской топографии на просвет методом Бормана, также снимались кривые дифракционного отражения. Уширение кривых для выращенных кристаллов составляет, как правило, не более 15-30", что свидетельствует об их высоком структурном совершенстве.

Оптическая микроскопия на просвет и рентгеновская топография показывают, что кристаллы $ZnGeP_2$ содержат полосы роста и включения вторых фаз, формирующих линейные структуры вдоль оси роста. Согласно данным микроанализа состав включений соответствует смеси фаз $ZnGeP_2$, Zn_3P_2 и Ge. Рентгеновская топография обнаруживает также дислокации различного вида, их ряды и одиночные микродефекты, как правило, вакансионного типа.

Просвечивающая электронная микроскопия показывает, что кристаллы $ZnGeP_2$ номинально стехиометрического состава содержат включения фосфида германия нанометровых размеров.

Научный руководитель – канд. техн. наук Г. А. Верозубова.

ВЫСОКОТОЧНАЯ САМОСБОРКА НАНОПЛЕНОЧНЫХ ПОЛОСОК В ЖИДКОЙ СРЕДЕ

Р. Д. Токмашев

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

С развитием нанотехнологий стало возможно изготавливать на одной шайбе до 100 триллионов элементов. Создание из такого числа элементов функциональных материалов и устройств возможно только с использованием технологии самосборки.

В лаборатории трехмерных наноструктур *ИФП СО РАН* был обнаружен эффект прецизионной самосборки микрополосок в жидкости. На подложке формируются металлические микрополоски методом взрывной литографии и напыления в вакууме (толщина полосок – 100 нм). При травлении жертвенного слоя в специальном растворе полоски отделяются от подложки и точно стыкуются друг с другом, формируя упорядоченные массивы (рис. 1). Число полосок в едином массиве достигает 1000 штук, что соответствует сборке полосок с большой площади – до 1 мм².

Работа посвящена выявлению механизма обнаруженного процесса самосборки. Выяснено, что процесс самосборки обусловлен поверхностными эффектами на границе раздела фаз травящего раствора.



Задание формы границы раздела позволяет контролировать самосборку.

Прецизионность и воспроизводимость формируемых структур, многообразие возможных форм литографических нанопленочных элементов открывают широкие возможности практического применения исследуемого процесса самосборки.

Рис. 1. Самосборка полосок в единый массив.

1. Mastrangeli M *et al* *Self-assembly from milli- to nanoscales: methods and applications* J. Micromech. Microeng. (2009) 19.

Научные руководители – Е. В. Наумова, д-р физ.-мат. наук, проф.
В. Я. Принц.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛОВ Si/Ge

Н. А. Горопов, А. М. Турапин
Томский государственный университет

На сегодняшний день прогресс технологи роста полупроводниковых структур позволяет получать трехмерные наноструктуры германия на поверхности кремния заданных размеров. Возникающие в процессе роста эпитаксиальных пленок упругие деформации, вызванные рассогласованием постоянных кристаллических решеток, являются ключевым фактором при образовании трехмерных островков (рост по механизму Странского–Крастанова).

В результате обзора литературных данных установлено, что наиболее высокая полученная плотность массива квантовых точек составляет $\sim 10^{12}$ см⁻², латеральный размер в этом случае достигает 10 нм, при осаждении Ge на окисленную поверхность Si. Зависимость плотности островков от температуры в интервале от 380 °С до 690 °С близка к линейной на участке от $\sim 10^7$ – 10^{10} см⁻². Плотность островков зависит от скорости напыления в силу того, что при большом потоке атомов германия атомы, находящиеся возле подложки, имеют меньше возможностей для прыжков (число их достигает $\sim 10^6$) для выбора положения с наименьшей свободной энергией и идут на рост зародившихся островков.

Одним из прямых методов исследования поверхности с островками нанометровых масштабов и последующей оценки плотности массива является сканирующая зондовая микроскопия.

В ходе запуска установки МЛЭ «КАТУНЬ-100» нами были получены следующие образцы: Si/Ge, Si/Ge/Si, Si/Ge_xSi_{1-x}/Ge. Полученные образцы были изучены на атомно-силовом микроскопе NT-MDT NTEGRA.

Для образца Si/Ge была определена плотность массива квантовых точек, равная $\sim 10^8$ см⁻². Выявлено, что плотность островков Ge для образца Si/Ge_xSi_{1-x}/Ge зависит от мольной доли германия: для $x = 0,15$ она равна $\sim 10^{10}$ см⁻², а для $x = 0,6$ в среднем на порядок ниже, поскольку упругие деформации меньше. Размеры квантовых точек для Si/Ge_xSi_{1-x}/Ge имеют разброс от 30 до 50 нм в основании и от 3 до 4,5 нм по высоте.

В результате измерения спектрального отклика с помощью спектрофотометра СФ–256 БИК для образца Si/Ge/Si было зафиксировано продление отклика в ИК-область до 100 нм по сравнению с образцами эпитаксиального Si.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. П. Коханенко.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЧИЩЕНИЮ ОБЪЕМА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ОТ НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ БЫСТРО ДИФФУНДИРУЮЩИХ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ

Ф. Тугалов

Самаркандский государственный университет им. Алишера Навои

Известен способ нейтрализации неконтролируемых быстро диффундирующих примесных атомов в кремнии путем геттерирования их из объема кристалла с помощью специального геттерного слоя, нанесенного на поверхность пластин. Эффективность геттерирования по данному способу низка, так как неактивная поверхность удалена от активной области полупроводникового устройства на достаточно большое расстояние, а эффективность геттерирования снижается по мере удаления от геттерного слоя.

Наиболее близким к предлагаемому нами способу является способ обработки кремния, включающий введение в образцы кремния примесей, образующих при последующем отжиге с быстро диффундирующими примесями электро-нейтральные комплексы.

Предлагаемый нами способ позволяет повысить эффективность нейтрализации БДП в кремнии путем селективного связывания в электро-нейтральные химически связанные комплексы по всему объему кристалла. Это достигается тем, что при обработке кремния, вводится образец кремния примесь, образующая при последующем отжиге с БДП электро-нейтральные комплексы, в качестве примеси используют серу, которую вводят методом диффузии до определенной растворимости. Термоотжиг проводят при температурах 780–800 °С, 800–820 °С, 1100–1150 °С и 720–740 °С, соответственно, для нейтрализации кобальта, никеля, цинка и кадмия в течение 30–60 минут.

Предлагаемый нами диффузионный способ легирования обеспечивает однородное легирование кремния серой по всему объему кристалла. В связи с этим, данный способ обеспечивает однородную нейтрализацию БДП по всему объему кристалла, кроме того условия образования химически связанных комплексов серы с каждым из БДП различны, поэтому способ обеспечивает селективную нейтрализацию БДП.

Преимуществом этого способа является возможность термостабилизации параметров кремния при условии сохранения однородности кристаллической решетки. Недостатком способа является узость интервала термостойкости кремния из-за интенсивного распада твердого раствора кремний-сера при $T > 750^{\circ}\text{C}$.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Т. У. Тошбоев.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ НЕФТЯНЫХ ПЛЕНОК И НЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ В ВОДЕ

М. Т. Убайдуллаев

Филиал Российского государственного университета нефти и газа
им. И. М. Губкина в г. Ташкенте

Задача контроля нефтяных загрязнений вод морей и океанов с помощью лазерных флуородатчиков становится все более актуальной, в связи с тем, что радиолокаторные устройства и радиометры микроволнового диапазона позволяет определить только наличие некоторые аномалии [1]. В определенных условиях использования лазерных флуородатчиков дает возможность однозначно определить толщину нефтяной пленки [2] и классифицировать тип нефти. Кроме того, установка лазерных флуородатчиков на борту самолёта позволяет за короткий срок проконтролировать большие площади водной поверхности. Контроль загрязнения водных поверхностей чаще всего проводится в условиях ветрового волнения на поверхности воды. Результаты такого волнения нефть постепенно перемешивается с водой и образуются эмульсия. Поэтому представляет интерес исследования характеристик спектров люминесценции различных типов нефти, растворенный (эмульсированной) в воде.

В настоящей работы приводятся результаты экспериментального исследования спектров люминесценции различных сортов нефти в зависимости от степени ее растворения в воде размеров капель эмульсии нефти, находящихся взвешенном состоянии. Для возбуждения люминесценции образцов чистой нефти и водных эмульсий использовались излучение азотного лазера с длиной волны $\lambda=337$ нм и пиковой мощности 100 кВт. Приготовление различных образцов водных эмульсии нефти осуществлялось с помощью диспергатора УЗДН-2Т, степень диспергации нефти и размер частиц, находящихся во взвешенном состоянии измерялись. При проведении экспериментов с помощью спектроанализатора OSA одновременно регистрировались спектры люминесценции спонтанно рекомбинационного рассеяние валентных колебаний О-Н связи H_2O , использованные в качестве внутреннего репера для нормировки спектров люминесценции исследуемых образцов. Экспериментальные результаты показывает, что спектры люминесценции эмульсии зависят от размера капель, т.е. чем меньше размер частиц нефти, находящихся во взвешенной состоянии, тем сильнее максимум люминесценции эмульсии смещаются в красную область спектра к максимуму люминесценции нефтяной пленки по поверхности воды.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Х. А. Джуманов.

СВЕТОПРОПУСКАНИЕ И ЕГО СВЯЗЬ СО СТРУКТУРОЙ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Н. С. Филатова, А. О. Яковлев

Сибирский государственный университет путей сообщения

К керамическим материалам предъявляют высокие требования по физико-техническим свойствам, поэтому контроль качества материалов очень важен в технике их получения. Светопроницающая способность керамики может быть комплексным показателем структуры материала.

Объектами исследования были образцы, изготовленные из различных по своей структуре и физико-механическим свойствам керамических материалов: алюмооксидной керамики (А-995, ВК95-1) и форстеритовой (ЛФ-П).

Нами была проведена серия опытов, в ходе которых пропускалось излучение света разной длины волны в диапазоне от 400 до 800 нм через исследуемые образцы и были фиксированы показания люксметра.

Результаты исследования показали:

В области излучения 350–550 нм, светопроницаемость зависит от длины волны и характеризуется коэффициентом поглощения, который практически не изменяется. Это характерно для всех трех видов керамики.

В области излучения 550–740 нм, светопроницаемость заметно уменьшается с увеличением длины волны. Коэффициент поглощения изменяется от 1,5 до 0,7 для ВК95-1 и ЛФ-П и от 2,8 до 2 для образца А-995.

В области излучения 740–800 нм светопроницаемость резко уменьшается практически до нуля. Эта зависимость справедлива для всех трёх видов керамики.

Таким образом, светопроницаемость имеет существенную зависимость от структуры материала: максимальное светопроницаемость характерно для однофазной корундовой крупнокристаллической керамики А-995, а минимальное – для алюмооксидной керамики ВК95-1.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. П. М. Плетнев.

ВЛИЯНИЯ ГАММА ОБЛУЧЕНИЙ НА ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ $pSi-n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) СТРУКТУР

К. Т. Холиков

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АНРУз

В этой работе приводятся результаты исследований влияния гамма-облучений на вольтамперные характеристики $pSi-n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) структур. Представлены вольтамперные характеристики $pSi-n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) структур после облучения до дозы 10^4 рад. В обоих направлениях пропускания тока насыщения не наблюдается, и структура имеет выпрямляющие свойства. После облучения до дозы 10^5 рад наблюдается ухудшение выпрямляющих свойств, а значения коэффициентов выпрямления уменьшается.

С целью изучения влияния гамма-облучений до дозы 10^4 и 10^5 рад на вольтамперные характеристики снимались ВАХ $pSi-n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) структур в прямом направлении протекания электрического тока при различных температурах. На начальном участке ВАХ закон изменения тока сохраняется, и показатель экспоненты после облучения до дозы 10^4 рад $s \approx 9,51$, а после облучения 10^5 рад $s \approx 11,01$. Параметр a после облучения до дозы 10^4 рад и до дозы 10^5 рад с увеличением температуры приближается к исходному значению. Видно, что влияние гамма-облучения приводит к увеличению диапазона чувствительности и времени жизни основных носителей, которое обусловлено радиационно-стимулированными твердофазными эффектами малых доз при γ -облучении.

С увеличением температуры эпитаксиального слоя твердого раствора $n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) происходит уменьшение влияния гамма-облучений.

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук Ш. Н. Усмонов.

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЙ НА НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ $pSi-n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) СТРУКТУР

К. Т. Холиков

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз

В данной работе приводятся результаты исследований вольтамперной характеристики (ВАХ) $pSi-n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0,01$) структур, облученными γ -лучами изотопа ^{60}Co с энергией $\sim 1,25$ МэВ и мощностью 0,9 рад/с до дозы 10^4 и 10^5 рад.

ВАХ $pSi-n(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ структур снимались при различных температурах до и после гамма-облучений до дозы 10^4 и 10^5 рад. По данным ВАХ вычислены произведения подвижности неосновных носителей на время жизни $\mu_p \tau_p$. На рис.1.а показана зависимость произведения $\mu_p \tau_p$ от температуры. Как видно из этого рисунка значения $\mu_p \tau_p$ в обоих случаях уменьшается с ростом температуры, что возможно связано с рассеянием неравновесных носителей на тепловых колебаниях решетки, что приводит к уменьшению подвижности неосновных носителей.

Далее было вычислено удельное сопротивление переходного слоя подложка-пленка. На рис.1.б показана зависимость ρ от температуры. Видно, что между подложкой и эпитаксиальной пленкой формируется компенсированный высокоомный слой из твердого раствора $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ $\rho_r = 7.2 \cdot 10^7$ Ом·см. при комнатной температуре. Как видно из рис. 1.б такая зависимость имеет сложный характер с максимумом при 370 К.

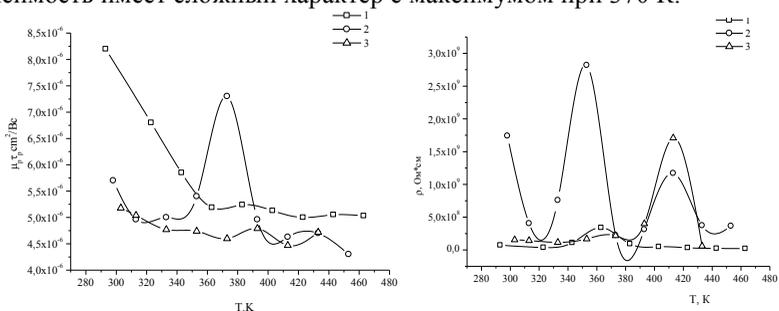


Рис. 1. а – зависимость произведения $\mu_p \tau_p$ от температуры, б – зависимость удельного сопротивления переходного слоя ρ от температуры. До (1) и после γ -облучения дозой 10^4 (2) и 10^5 (3) рад, соответственно.

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук Ш. Н. Усмонов.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ЛЕГИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛА ПОЛУПРОВОДНИКА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ПРИМЕСЯМИ

Ш. Худояров

Самаркандский государственный университет им. Алишера Навои

В результате проведенных исследований установлены экспериментальные зависимости напряжения холостого хода, тока короткого замыкания, КПД и стабильности кремниевых солнечных элементов от концентрации атомов серы, кобальта, никеля, цинка, кадмия и условий диффузии после дополнительного легирования данными примесями как базовой, так и фронтальной областей фотоэлементов.

Дополнительное легирование приводит к увеличению тока короткого замыкания при незначительном увеличении напряжения холостого хода и к существенному повышению стабильности исследуемых элементов, что зависит от природы и концентрации вводимых примесей.

Полученные фотоэлементы имеют высокую стабильность, при работе в реальных условиях термоциклирования и повышенной интенсивности излучения, приводящих к образованию радиационных дефектов. Так наличие никеля и серы в базе кремниевых солнечных элементов практически полностью подавляют генерации как закалочных, так и других термодинамических дефектов. Заметна их радиационная стойкость, ТО до 50 ч. в области 100–500 °С не приводит к существенному изменению электрофизических и фотоэлектрических свойств базы (удельное сопротивление, подвижность, время жизни неосновных носителей тока) фотоэлементов дополнительно легированных Ni, Co, Cd, Zn и S при существенном изменении исходных параметров контрольных образцов. Перспективно использование таких элементов при концентрированном солнечном излучении вследствие повышенной стабильности и наличия у них суперлинейной люкс-амперной характеристики.

Одним из основных параметров полупроводниковых материалов, определяющих эффективность солнечных элементов, является время жизни неосновных носителей тока. Оно, в основном, зависит от наличия распределения БДП в объеме кристалла и их активации в процессе изготовления солнечных элементов. При изготовлении солнечных элементов (термообработках) время жизни неосновных носителей тока существенно падает, что ухудшает параметры готовых элементов.

Поэтому представляет большой практический интерес использование полученных новых экспериментальных результатов в процессе изготовления солнечных элементов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Т. У. Тошбоев.

РЕЗОНАНСНЫЙ ПРОБОЙ КУЛОНОВСКОЙ БЛОКАДЫ МЕХАНИЧЕСКИМИ КОЛЕБАНИЯМИ ОДНОЭЛЕКТРОННОГО ТРАНЗИСТОРА

А. А. Шевырин

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

Кулоновская блокада – хорошо известное явление, обычно изучающееся в одноэлектронных транзисторах с неподвижной квантовой точкой. Однако в последнее время технология позволяет создавать так называемые нано-электромеханические системы на основе тонких полупроводниковых мембран, «подвешенных» над подложкой путем селективного травления жертвенного слоя, разделяющего мембрану и подложку. В настоящей работе был изготовлен одноэлектронный транзистор с квантовой точкой, оторванной от подложки, на основе мембраны-гетероструктуры GaAs/AlGaAs с двумерным электронным газом. Изучалось влияние механических колебаний нанопроволоки на контактанс транзистора, находящегося в режиме кулоновской блокады. Колебания возбуждались путем приложения к одному из затворов ВЧ-напряжения в диапазоне частот 100 кГц – 1 ГГц.

Было обнаружено, что механические колебания нанопроволоки приводят к резонансному увеличению контактанса транзистора, в отсутствие колебаний находящегося в режиме кулоновской блокады. Установлено, что частоты, отвечающие резонансам, не меняются в различных циклах охлаждения, а, следовательно, не зависят от конкретной реализации потенциала случайной примеси, который, как известно, меняется при термоциклировании. Это подтверждает гипотезу о механической природе наблюдаемых резонансов. В эксперименте резонансы наблюдались при частотах 60, 170, 320, 530, 600 и 700 МГц. На основе известной теории были проведены оценки частот различных мод колебаний нанопроволоки. Установлено, что частота 60 МГц соответствует колебаниям подтравленного края подвешенной мембраны, а остальные измеренные частоты – различным номерам мод изгибных колебаний вдоль толщины и вдоль ширины нанопроволоки. Крутильные, сдвиговые и дилатационные колебания имеют частоты, превышающие верхнюю границу экспериментального диапазона.

Предположительно, колебания нанопроволоки оказывают влияние на контактанс одноэлектронного транзистора вследствие изменения взаимных емкостей между квантовой точкой и ее окружением (подложкой и каждым из затворов).

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

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ДОМЕННЫХ СТРУКТУР НА X-СРЕЗЕ LiNbO_3

В. В. Щербина, М. В. Бородин, Д. О. Анисимов
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники

Представлены результаты оптических исследований периодически поляризованных доменных структур (ППДС), сформированных на X-срезе LiNbO_3 электронным облучением подложки в растровом электронном микроскопе (РЭМ) методом последовательных точечных облучений в направлении +Z с энергией в 25 кэВ и током в 100 пА. Размер области облучения для одной ППДС составлял $620 \times 675 \text{ мкм}^2$ при периоде 6,5 мкм. Доза облучения для различных структур изменялась от 600 до 1000 мкКл/см². ППДС в ниобате лития могут изучаться методом химического травления, в растровом электронном микроскопе [1] и методом микроскопии генерации второй оптической гармоники [2]. Следует отметить, что методом химического травления не удастся изучить ППДС в подложках неполярного X-среза ниобата лития. Использование РЭМ после изготовления структур также не позволило получить их изображение.

Визуализация планарных ППДС проводилась методом ГВГ-микроскопии при засветке X-поверхности образца пучком лазерного излучения ($\lambda=1053 \text{ нм}$) с длительностью импульсов 10 нс и энергией 200 мкДж. Изображения всех 16-ти сформированных ППДС были получены на длине волны 526.5 нм на фоне несинхронной ГВГ в объеме кристалла при засветке всей его поверхности. Эти изображения подтвердили соответствие периода и размеров структур в направлении оси Y ожидаемым параметрам. По форме изученные структуры схожи с аналогичными ППДС, полученными ранее на Y-срезе ниобата лития, и имеют в направлении +Z полуовальную форму.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 09-02-00609_a) и программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)». Авторы благодарят Л.С. Коханчик за изготовление ПДС и их исследования в сканирующем электронном микроскопе.

1. L. Kokhanchik L.S. Kokhanchik, D.V. Punegov. Micro-scale domain structure formation by e-beam point writing on the Y cut surfaces of LiTaO_3 crystals // Proc. SPIE 7025, 70250J (2008).

2. E. Soergel. Visualization of ferroelectric domains in bulk single crystals. Appl. Phys. B 81, 729-752 (2005).

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

ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДОВ НА НИОБАТЕ ЛИТИЯ С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ ДОМЕННЫМИ СТРУКТУРАМИ, СФОРМИРОВАННЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ

В. В. Щербина, М. В. Бородин, Д. О. Анисимов, А. Ю. Печенкин
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Оптические волноводы, полученные диффузией Zn в LiNbO_3 , обладают повышенной стойкостью к интенсивному лазерному излучению [1]. В сообщении представлены результаты оптических исследований планарных волноводов Zn:LiNbO_3 , в одном из которых были сформированы электронным лучом периодически поляризованные доменные структуры (ППДС) для квазисинхронной генерации второй гармоники (ГВГ).

Планарные оптические волноводы формировались путем диффузии из пленок ZnO при температуре 870 °C в воздушной атмосфере. Пленки ZnO для формирования волноводов получали методом вытягивания подложки LiNbO_3 из спиртового раствора салицилата цинка. В оптических исследованиях для ввода и вывода лазерного излучения использовались призмы из ниобата лития и рутила. Из измерений эффективных показателей преломления волноводов было получено, что для квазисинхронной ГВГ при накачке с $\lambda = 1053$ нм период ППДС должен составлять около 6,6 мкм.

В одном из таких волноводов, сформированном на подложке X-среза и обеспечивающем вдоль оси Y распространение трех TE мод на длине волны $\lambda = 526,5$ нм и моды TE_0 для $\lambda = 1053$ нм, были сформированы девять ППДС в растровом электронном микроскопе методом последовательных точечных облучений в направлении +Z пучком с энергией 25 кэВ и током 100 пА. Периоды структур составляли 6,6 и 6,7 мкм.

Для пучка накачки с длительностью импульсов 10 нс и энергией 200 мкДж, возбуждаемого на моде TE_0 ($\lambda = 1053$ нм), на этих структурах наблюдалась волноводная ГВГ на модах TE_0 – TE_2 с суммарной эффективностью, составляющей около 10 %.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 09-02-00609_a) и программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)». Авторы благодарят Л.С. Коханчик за изготовление ПДС и С. А. Кузнецову за нанесение пленок ZnO на ниобат лития.

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

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

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА PIN-ДИОДОВ НА ОСНОВЕ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

А. Ю. Ющенко, С. С. Кузнецов
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Целью настоящей работы явилась разработка отечественного бескорпусного pin-диода на арсениде галлия. Для достижения поставленной цели необходимо было проанализировать свойства различных эпитаксиальных структур, выбрать материал, разработать конструкцию и отработать технологию изготовления приборов.

Исследования проводились на двух типах эпитаксиальных p^+i-n^+ – структур, выращенных на полуизолирующей подложке. Структуры первого типа выращивались с использованием газофазной эпитаксии (ГФЭ), а второго – методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). В структурах ГФЭ высокоомные слои были получены уже после выращивания структур в процессе высокотемпературной диффузии хрома.

Созданы СВЧ pin-диоды с балочными выводами, минимальная емкость которых менее 25 фФ. Измерялись статические параметры и частотные характеристики диодов до 40 ГГц.

Установлено, что вольтамперные характеристики диодов, изготовленных на указанных материалах, при предельно высоких плотностях прямого тока (вплоть до $1,5 \cdot 10^4 \text{ А/см}^2$) подчиняются выражению $j = j_0 \exp(qU/2kT)$, что отличает их от pin-диодов на других материалах [1]. Показано, что сопротивление открытого диода, полученного методом МЛЭ ниже, чем для метода ГФЭ. Разработанные диоды характеризуется высокими напряжениями пробоя и низкими токами утечки. При этом на диодах, полученных на структурах ГФЭ, напряжения пробоя выше (4–5 В), чем на структурах выращенных методом МЛЭ (32–35 В).

Показано, что созданные pin-диоды соответствуют лучшим зарубежным аналогам [2].

1. В.И. Гаман. Физика полупроводниковых приборов. Изд. «Научно-технической литературы», Томск, 2000г., с.399

2. White, Joseph F., Microwave Semiconductor Engineering, SciTech Publishing, 1995., 558p.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. Г. И. Айзенштат.

OPTICAL INVESTIGATION OF CHARGE AND SPIN DIFFUSION LENGTHS IN P+ GALLIUM ARSENIDE

I. V. Favorskiy

Laboratory for Condensed Matter Physics, École Polytechnique (France)
Novosibirsk State University

The determination of the diffusion length is essential for understanding spin transport phenomena in semiconductors. While such transport has mostly been investigated for n-type GaAs at low temperature, it is also of interest to investigate transport and spin transport properties for p+-doped materials, in which the spin polarization of conduction electrons is large at room temperature.

Charge and spin diffusion equations have been established using the approximation of weak electric field. For charge diffusion, the derivation of the formula was initially done by Smith [1]. For spin diffusion, the same approach has been applied, starting from the continuity equations for electrons with spin states $+1/2$, $-1/2$ and for holes.

The solutions of the diffusion equations have been obtained numerically in Comsol Multiphysics. The numerical resolution procedure has been validated by comparing analytical and numerical solutions in a simple geometry. After validation, resolution has been done for some interesting geometries, which are analytically insolvable.

A far field optical microscope permitting optical excitation of a sample with a circularly polarized laser, and circularly polarized analysis of the resulting luminescence has been designed, built and tested. With a long working distance x50 objective, a spatial resolution of the order of 1.5 μm is possible.

The charge diffusion length has been measured experimentally by processing images of luminescence of a semiconductor sample, excited by an IR laser beam. Two types of samples have been investigated at 300 K, both with the acceptor concentration of 10^{18} cm^{-3} .

For a passivated GaInP/GaAs/GaInP structure with surface recombination velocity of approximately 10^3 cm/s , a mean intrinsic diffusion length of $\sim 11 \mu\text{m}$ was obtained. Estimation of the intrinsic spin diffusion length in this sample is limited by the resolution of the experiment, and is found to be at maximum 1.5 μm , consistent with the very weak static polarization of the sample (0.1 %).

For a simple oxidized GaAs sample with surface recombination velocity of 10^7 cm/s , charge and spin diffusion is limited by surface recombination. As a result, a mean extrinsic charge diffusion length of 2.2 μm and a spin diffusion length of 1.7 μm are measured.

1. R. Smith. Semiconductors. Cambridge University Press (1961).

Scientific advisors – Dr. A. Rowe, Dr. D. Paget.

THE MOTOR WITH ELECTRONICS

S. A. Gerasimova
Togliatty State University

The investigation concerns two main problems: the first is the problem of economic use of energy, and the second is the problem of procuring patents for inventions of Russian scientists.

The most prevalent type of modern thermal engine is the internal combustion engine (ICE). Internal combustion engines are installed in cars, planes, tanks, tractors, motor boats etc.

The internal combustion engine is the thermal engine in which chemical energy in the fuel that is burning down in a working cavity will be transformed into mechanical energy. The basic part of an internal combustion engine is one or several cylinders in which fuel is burned.

The engine process is comprised of four steps:

I. Intake: The piston moves downward, opening the intake valve and sucking a mixture of gas and air into the cylinder from the carburetor.

II Compression: The intake valve is closed, and the piston moves upward, compressing the gas mixture. With compression, the gas heats up.

III Combustion: When the piston reaches the top (or at a faster pace, near the top) position, the mix is ignited by the electric spark generated by the spark plug. The pressure of the gas — the heated product of combustion — pushes the piston downward with tremendous force.

IV Exhaust: The exhaust valve opens, and the excess gas is discarded through the muffler into the atmosphere.

The external combustion engine developed by L. P. Russin improves the negative elements of the standard ICE and makes the combustion process more efficient. The mechanical energy of the ICE is replaced by an electronic control mechanism. This engine does not produce excess gas in the cylinders. The electronic mechanism signals the valves to intake only a precisely measured quantity of compressed gas, steam, or liquid. The benefit of this system is that nothing is burned down or blown up.

In conclusion, it is in the best interest of our society to efficiently develop this invention, so as to adequately compete with leading countries in the combustion engine sphere.

Research supervisor – S.V. Lavrova.

ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

CORRELATION OF IDENTICAL PARTICLES FOR PB-PB EPOS-SIMULATED COLLISIONS AT 5.5 TEV

E. Servais

École Nationale Supérieure des Mines de Paris — Mines ParisTech,
Heavy Ion Reactions Group — Warsaw University of Technology

On the 23rd of November in the Large Hadron Collider circulated for the first time two counter rotating beams, which has conducted to the first registered collisions. It has been predicted that during collisions of nuclei at very high energy, quarks could be deconfined, what leads to the so-called Quark-Gluon Plasma. Nevertheless the first collisions at LHC were just proton-proton collisions at 450 GeV and we will have to wait months before getting first results for heavy ions, such as gold or lead, at higher energy. To be ready for this important day many scientists around the world are nowadays developing and using software to simulate collisions data.

As a second year student of the Mines ParisTech engineering school (Paris), I took the opportunity to spend a semester in a foreign university to work on a research program. As physics and computer science are topics of high importance to me, I asked to join one of the most meaningful experience of our time. The Alice experiment (A Large Ion Collider Experiment) is one of the experience conducted at the LHC at Cern in Geneva. It is especially dedicated to the description of the Quark-Gluon plasma and is a proof of the great cooperation possible between international teams.

The subject of this paper is the correlation of identical particles during very high energy collisions. The collisions occur at 5.5 TeV in the centre of mass system for ^{208}Pb ions. They are simulated by EPOS (version 1.67 without Hydro module). The aim of this work is to show the relevance of this simulation model by comparing the simulations results to experimental ones obtained for heavy ions at high energy. EPOS is a software developed by Klaus Werner dedicated to collisions simulation.

Scientific advisors — Dr. Hab J. Pluta, Dr H. P. Zbroszczyk.

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ В ПАРУ ЗАРЯЖЕННЫХ КАОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ СНД

Е. Г. Авдеева

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

Измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ по данным эксперимента СНД [1], установленном на коллайдере ВЭПП-2000 [2], входит в физическую программу СНД.

Сечение рассматриваемого процесса необходимо для измерения ряда физических величин: общего адронного сечения, формфакторов каонов, параметров возбужденных состояний векторных мезонов. Кроме того, обработка данных на начальных стадиях эксперимента важна для проверки работы подсистем детектора.

Сечение процесса в эксперименте вычисляется по формуле $\sigma = N/(L\varepsilon)$, где N – число событий искомого процесса, ε – эффективность регистрации, L – интегральная светимость по тем заходам, по которым вычисляется число событий.

Для отбора K -мезонов используются следующие параметры: число заряженных треков, угол расколлинеарности треков, ионизационные потери, энерговыделение и углы вылета. Одной из подзадач является создание параметра «ионизационные потери» и обеспечение возможности использования их обработчиками.

Для вычисления эффективности регистрации необходимо адекватное моделирование, и в данный момент ведутся работы по уточнению процедуры вычисления координат треков вдоль проволоочки.

1. M. N. Achasov et al., Nucl. Instrum. Meth. A 449, 125 (2000)

2. Yu. M. Shatunov et al., in Proc. of the 2000 European Particle Acc. Conf., Vienna, 2000, p. 439

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. С. И. Средняков,
А. Г. Харламов.

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ ПРИ ЭНЕРГИЯХ ВБЛИЗИ КУЛОНОВСКОГО БАРЬЕРА

Н. Амангельды, Н. Буртебаев, Б. Мауей,
А. Ж. Ильясова, Ш. М. Хамада

Институт ядерной физики НЯЦ РК, г. Алматы, Казахстан
Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана
Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы

Изучение упругого рассеяния тяжелых ионов на легких ядрах при энергиях вблизи кулоновского барьера представляют интерес как с точки зрения установление достоверных значений параметров потенциалов взаимодействия тяжелых ионов при низких энергиях, так и для изучения механизма кластерных передач в процессах рассеяния [1].

Целью данной работы является анализ упругого рассеяния, экспериментальных данных системы $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ при энергиях $E_{\text{lab}} = 28; 75; 80,2; 86,7$ МэВ.

В настоящей работе приведены результаты по подробному изучению механизмов упругого рассеяния ионов кислорода на ядрах ^{16}O при энергиях вблизи кулоновского барьера. Дифференциальные сечения упругого рассеяния ионов кислорода на ядрах ^{16}O были измерены на выведенном пучке циклотрона ДЦ – 60 ИЯФ НЯЦ РК (г. Астана) в интервале углов $24^\circ - 124^\circ$ в системе центра масс при энергии 1,75 МэВ/нуклон. В качестве мишеней были использованы пленки из окиси Al_2O_3 с толщиной порядка 20 мкг/см². Энергетические спектры рассеянных частиц регистрировались полупроводниковым детектором из кремния фирмы ORTEC с толщиной чувствительного слоя 100 мкм. Энергетическое разрешение системы регистрации составило 250–300 кэВ, которое, в основном определялось энергетическим разбросом первичного пучка [1, 2]

Из анализа экспериментальных данных в рамках оптической модели получены достоверные значения параметров потенциала взаимодействия для системы $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$.

1. М. К. Бактыбаев, Н. Буртебаев, Н. Амангельды, и др. Исследование упругого рассеяния ионов кислорода на ядрах ^{12}C , ^{16}O при энергиях вблизи кулоновского барьера // Тезисы докладов 7-й международной конференции «Ядерная и радиационная физика», 8–11 сентября 2009 года, Алматы, Казахстан, с. 45.

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ $^{12}\text{C}(^{16}\text{O}, ^{16}\text{O})^{12}\text{C}$ ПРИ ЭНЕРГИИ 28 МЭВ

Н. Амангельды, Н. Буртебаев, Е. Н. Сауханбек,
Н. У. Эшбеков, Ш. М. Хамада

Институт ядерной физики НЯЦ РК, г. Алматы, Казахстан
Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана
Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы

Исследование упругого рассеяния представляет собой реакцию между ядром-снарядом и ядром-мишенью и наряду с этим является важным источником информации о ядерных свойствах. Угловой диапазон при рассеянии несимметричных систем значительно увеличивается. В этом случае наиболее перспективным для изучения является система $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ [1].

Данная работа выполнена на базе ускорителя тяжелых ионов ДЦ-60 ИЯФ НЯЦ РК (г. Астана). Циклотрон ДЦ-60 может производить интенсивные пучки тяжелых ионов от лития (Li) до ксенона (Xe) с энергией от 0.35 до 1.77 МэВ/нуклон. В качестве мишеней были использованы пленки из углерода с толщиной порядка 20 мкг/см². Энергетические спектры рассеянных частиц регистрировались полупроводниковым детектором из кремния фирмы ORTEC с толщиной чувствительного слоя 100 мкм [2].

Анализ экспериментальных данных по упругому рассеянию в настоящей работе выполнялся в рамках метода связанных каналов по программе ECIS-88, в которых предусмотрены автоматический поиск параметров оптического потенциала.

Полученные дифференциальные сечения упругого рассеяния ионов кислорода на ядрах ^{12}C анализировались в рамках оптической модели. Были получены оптимальные параметры потенциала взаимодействия для системы « $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ ».

1. Е. Е. Родионова. Квантовое и квазиклассическое описание упругого рассеяния ионов ^{16}O на ядрах ^{12}C и ^{16}O в широком диапазоне энергий. // Автореферат, Санкт-Петербург, 2008.

2. М. К. Бактыбаев, Н. Буртебаев, и др. Исследование упругого рассеяния ионов кислорода на ядрах ^{12}C , ^{16}O при энергиях вблизи кулоновского барьера. // Тезисы докладов 7-й международной конференции «Ядерная и радиационная физика», Алматы, Казахстан, 2009, с. 45.

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

ИЗМЕРЕНИЕ СМЕШИВАНИЯ D-МЕЗОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАНТОВЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ

В. С. Воробьев

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

Проверка Стандартной Модели и поиск Новой Физики – главные задачи экспериментальной физики элементарных частиц. Важную роль в этом играет изучение механизмов CP-нарушения и, в частности, измерение параметров треугольника унитарности. В данный момент угол γ этого треугольника измерен наименее точно. Поэтому улучшение точности представляет большой интерес. Лучшие результаты по измерению угла γ достигнуты при изучении CP-нарушения в распаде $B_{\pm} \rightarrow DK_{\pm}$ [1]. Дальнейшее повышение точности, которое ожидается с началом экспериментов на LHCb, требует тщательного анализа возможных источников систематических неопределенностей в такого типа измерениях. Недавно экспериментально обнаруженный эффект смешивания нейтральных D-мезонов [2] может приводить к дополнительным неопределенностям в γ . Кроме того, явление смешивания мезонов само по себе представляет большой интерес для поиска эффектов Новой Физики.

В данной работе предложен новый метод измерения параметров смешивания D-мезонов, основанный на использовании когерентных распадов пар D и анти D-мезонов в трехчастичные конечные состояния. В зависимости от C-четности этой пары смешивание по-разному влияет на плотность событий на Далицц диаграмме. Если регистрировать C-четные и нечетные события в одном эксперименте, то из разности эффектов можно извлечь параметры смешивания D-мезонов, а за счет близости кинематических условий влияние эффективности регистрации частиц и других систематических неопределенностей может быть сведено к минимуму. Использование бинированного Далицц-анализа трехчастичных распадов D-мезонов позволяет устранить модельную погрешность.

В работе показано, что при используемой сейчас процедуре измерения угла γ погрешность от смешивания D-мезонов не превышает 0.3° , а за год работы супер с-т-фабрики со светимостью $10^{35} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ параметры смешивания x и y могут быть измерены с абсолютной статистической точностью $\sim 5 \cdot 10^{-4}$.

-
1. Phys. Rev. D 73, 112009 (2006), Phys. Rev. D 78, 034023 (2008).
 2. Phys. Rev. Lett. 98, 211803 (2007), Phys. Rev. Lett. 98, 211802 (2007).

Научный руководитель – чл.-корр. РАН, проф. А. Е. Бондарь.

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, Фадына, 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, преобразующихся 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 лидирующим приближении. Он включает “виртуальный” вклад в реджевскую траекторию глюона, и “реальный” вклад в ядро уравнения БФКЛ, связанный с рождением реальных частиц в столкновениях двух Реджеонов. 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.

РЕГИСТРАЦИЯ СЦИНТИЛЛЯЦИЙ В УСТАНОВКЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ДРЕЙФА

К. А. Гревцов

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

Широкий класс экспериментов по физике элементарных частиц проводится на крупных установках – коллайдерах, с использованием современных комплексов систем регистрации частиц и излучений, называемых детекторами. Длительный и непрерывный характер проводимых экспериментов предъявляет жесткие требования к долговременной надежности и эффективности работы систем детектора, стабильности его параметров.

На протяжении десятков лет детекторы на основе газовых смесей являются ключевыми элементами многих детектирующих систем. Пропорциональные, дрейфовые, стримерные камеры используются для решения задач идентификации частиц. Поскольку даже незначительное изменение параметров газовой смеси может привести к заметному изменению регистрирующих свойств детектора, требуется обеспечивать непрерывный контроль параметров газовой смеси.

Цель данной работы заключается в контроле скорости дрейфа электронов ионизации, в свою очередь дающий понятие о состоянии газовой смеси. Используется оптический метод (регистрация сцинтилляций с помощью ФЭУ).

В данной работе используются регистрирующая дрейфовая ячейка с пропорциональной камерой, продуваемая газовой смесью, под которую устанавливают изотоп. Изотоп $^{90}_{38}\text{Sr}$ - $^{90}_{39}\text{Y}$ излучает β -частицу, она влетает в камеру, сталкиваясь с молекулами газа ионизирует их, получившиеся электроны ионизации дрейфуют к аноду. Эта же β -частица вылетая из камеры попадает в пластиковый сцинтиллятор, вызывая вспышку света, считываемую с помощью фотоэлектронного умножителя. В данной работе используется пластиковый сцинтиллятор толщиной 1 см.

Сигналы с камеры и ФЭУ передаются на счетную аппаратуру, которая считает разницу времен между приходами сигналов, и выдает результат в виде зависимости скорости дрейфа электронов ионизации, от напряженности электрического поля. По контролю скорости производится мониторинг газовой смеси.

Проведена калибровка ВЦП и промерено собственное разрешение сцинтиллятора.

Результаты измерений находятся в согласии с существующими экспериментальными и полученными в работе 2008 года данными.

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

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЧАСТИЦ В КАЛОРИМЕТРЕ НА ЖИДКОМ КРИПТОНЕ

Е. Г. Козлов

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

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 ионизационные потери заряженных частиц на единицу длины (dE/dx). Информация о dE/dx может служить для идентификации – определения типа частицы.

Алгоритм идентификации основан на том, что частицы с одинаковым импульсом и разной массой имеют разные величины dE/dx , так как ионизационные потери в веществе зависят от скорости частицы. Таким образом, измерив величину dE/dx в стриповой структуре калориметра и импульс частицы в дрейфовой камере, можно определить ее тип. Для повышения эффективности алгоритма в работе используется метод усеченного среднего. Суть метода заключается в усреднении минимальных амплитуд dE/dx (стриповая структура калориметра позволяет провести до семи измерений ионизационных потерь частицы), благодаря чему можно значительно улучшить разрешение по dE/dx .

Главной целью работы является создание алгоритма эффективного различения π - и K -мезонов. Результатом работы будет пакет идентификации частиц, который будет включен в программный комплекс реконструкции калориметра и сможет расширить возможности детектора КЕДР по анализу адронных процессов.

На данный момент написан алгоритм измерения dE/dx в калориметре, и измерено разрешение по dE/dx для мюонов по данным, набранным детектором КЕДР в специальных калибровочных заходах. Разрешение составило лучше 10 %.

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

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

СИСТЕМА КАЛИБРОВКИ АЭРОГЕЛЕВЫХ ЧЕРЕНКОВСКИХ СЧЕТЧИКОВ ДЕТЕКТОРА СНД

К. А. Мартин

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

В Институте ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН начинаются эксперименты на e^+e^- коллайдере ВЭПП-2000 со Сферическим нейтральным детектором (СНД). Для разделения π - и K -мезонов в области импульсов до 870 МэВ/с в детекторе СНД будет использоваться система аэрогелевых черенковских пороговых счетчиков. Для корректной работы системы необходим постоянный контроль основных параметров счетчиков.

Целью данной работы являлось создание системы и отработка методики калибровки черенковских счетчиков детектора СНД.

В рамках исследовательской работы было выполнено следующее:

- Разработана и практически реализована схема системы калибровки аэрогелевого черенковского счетчика.
- Разработано и отлажено программное обеспечение для калибровки черенковских счетчиков.
- Система калибровки установлена вместе с системой черенковских счетчиков на детектор.
- Проводятся регулярные калибровки электроники измерительного тракта и фотоэлектронных умножителей черенковских счетчиков детектора СНД.

В настоящее время производится интеграция разработанной системы в общую систему сбора данных СНД.

Научный руководитель – К. И. Белобородов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАСПАДА $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \omega \pi^-$ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ С ДЕТЕКТОРА BELLE

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

Распад $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \omega \pi^-$ с одной стороны примечателен потому, что состояние $\omega \pi^-$ не связано с каким-либо одним узким резонансом (доступен широкий диапазон инвариантной массы системы для определения точности приближения факторизации) [1], с другой стороны он позволит изучить свойства широкого D_1' -мезона, который является представителем D^{**} -состояний и распадается в S-волне в $D^* \pi$ -состояние. Изучение свойств таких состояний позволит проверить «эффективную теорию тяжелого кварка», согласно которой полный момент легкого кварка является хорошим квантовым числом.

Распад $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \omega \pi^-$ изучался экспериментально коллаборациями CLEO [2] и BaBar [3]. Спектр квадрата инвариантной массы $\omega \pi^-$ системы по результатам этих работ находится в согласии с теоретическими предсказаниями [1]. Также установлено, что в изучаемом распаде доминирует вклад широкого промежуточного $\rho'(1450)$ резонанса.

Изучение данного распада на детекторе Belle планируется при интегральной светимости $710,5 \text{ фб}^{-1}$ на $\Upsilon(4S)$ -резонансе, вместо 211 фб^{-1} в [3]. На данный момент в сигнальном моделировании получена интегральная эффективность реконструкции процесса и установлены подходящие критерии отбора событий, также обработана часть экспериментальных данных. В дальнейшем планируются Далитц-анализ и анализ угловых распределений для определения резонансных вкладов и их интерференций.

-
1. Z. Ligeti, M. Luke and M. B. Wise, Phys. Lett. B **507**, 142 (2001).
 2. J. P. Alexander *et al.* (CLEO Collaboration), Phys. Rev. D **64**, 092001 (2001).
 3. B. Aubert *et al.* (BaBar Collaboration), Phys. Rev. D **74**, 012001 (2006).

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук А. С. Кузьмин, д-р физ.-мат. наук С. И. Эйдельман.

НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ ПУЧКОВОГО ДАТЧИКА

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

Современное развитие ускорителей заряженных частиц идёт в направлении увеличения интенсивности пучков, что в свою очередь требует разработки новых методов диагностики. Эти методы, должны быть неразрушающими, т. е. не ухудшающими качество исследуемого пучка. Неразрушающие методы могут быть основаны на взаимодействии интенсивного пучка с веществом или излучением достаточно низкой плотности, чтобы не возмущать существенно исследуемый объект. Агентом взаимодействия может быть поток нейтральных атомов, а также пучок заряженных частиц. Прибор позволяющий осуществить такую диагностику называется пучковый датчик. С помощью этого прибора были исследованы пучки в ускорителе ВЭПП-4М. При помощи пучкового датчика можно решить следующие задачи диагностирования пучков заряженных частиц высокой энергии в ускорителях: распределение плотности частиц в исследуемом сгустке, определение поперечной координаты центра масс сгустка, исследование внутренней структуры пучка и ее эволюцию во времени. Тестирующий пучок низкой энергии, после взаимодействия с исследуемым пучком в ускорителе, попадает на люминофор, вызывая его свечение, которое в свою очередь регистрируется цифровой ПЗС камерой. Изображение тестирующего пучка с камеры передается на компьютер. За тем полученное изображение обрабатывается специальной программой, которая позволяет построить профиль исследуемого пучка. Точность исследуемых параметров пучка зависит от качества полученного изображения тестирующего пучка.

Изучен вопрос об эффективности использования алюминиевой пленки для повышения характеристик люминофора (повышение долговечности, улучшение контрастности изображения). Рассмотрена возможность применения алюминиевой пленки толщиной $0,1$ мкм и $0,2$ мкм. Вычислены потери электронов и углы рассеяния тестирующего пучка электронов при прохождении через эти пленки. Кроме того написана программа по обработке изображения пучка, которая позволяет найти пучок на экране, а так же построить профиль распределения заряда в поперечном сечении исследуемого пучка.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук П. В. Логачев,
Д. А. Малютин, канд. физ.-мат. наук А. А. Старостенко.

УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА КОНУСООБРАЗНОГО ПУЧКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Л. В. Никифорова, Б. В. Яковлев
Якутский государственный университет им. М. К. Аммосова

В связи с развитием нанотехнологии в настоящее время стала актуальной проблема разработки и проектирования источников заряженных частиц на основе полевой электронной и ионной эмиссии.

Во внешнем электрическом поле при очень высоких напряженностях электрического поля порядка 10^8 В/м с поверхности металла происходит полевая электронная эмиссия.

Это явление известно из давних времен, но теория этой электронной эмиссии была разработана в 30-е гг. 20-го столетия после создания квантовой механики Фаулером и Нордгеймом на основе квантово-механического метода ВКБ. Теория достаточно хорошо описывает экспериментальные данные, но при режиме отбора больших токов наблюдается некоторое расхождение теории с экспериментом. Большинство специалистов это расхождение связывают с влиянием пространственного заряда пучка источника.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния пространственного заряда пучка на эмиссионные характеристики источника. Разработана модельная задача для расчета углового распределения потенциала пучка заряженных частиц полевого электронного катода. Полевой электронный катод моделируется сферой радиуса r_0 , анод сферой радиуса R . Имеется пучок заряженных частиц с плотностью распределения $\rho = \rho_0 \frac{r_0^3}{r^3}$, где r - сферические координаты с углом раствора $\theta = \theta_0$ внутри сферического диода.

Расчет углового распределения потенциала сделан двумя методами. Получено решение данной задачи, методом разложения по сферическим функциям и методом Фурье с использованием условия сшивания на границе пучок-вакуум.

Был проведен анализ полученного аналитического выражения и сравнение с результатом, полученным для данной задачи методом разложения по сферическим функциям, анализ показал хорошее соответствие полученных результатов расчета.

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

МОЖНО ЛИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ОБНАРУЖИТЬ НАРУШЕНИЕ CP -ИНВАРИАНТНОСТИ В СТОЛКНОВЕНИЯХ ТЯЖЁЛЫХ ИОНОВ?

А. С. Руденко

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

Несколько лет назад была выдвинута гипотеза [1], согласно которой в горячей и плотной материи, образующейся при столкновениях тяжёлых ионов, могут возникать метастабильные области, где локально нарушена CP -инвариантность.

Для поиска такого нарушения было предложено несколько P - и T -нечётных корреляций импульсов π -мезонов, рождающихся в ион-ионных столкновениях [2]. Моделирование показало, однако, что нужна слишком большая статистика, чтобы, используя подобные импульсные корреляции, обнаружить эти T -нечётные эффекты [3].

Позднее обсуждался коррелятор [4], который удобно представить в следующем наглядном виде:

$$\langle 2 \vec{j} \vec{p}_1 \vec{j} \vec{p}_2 - j^2 [\vec{p}_1 \vec{p}_2 - \vec{p}_1 \vec{n} \vec{p}_2 \vec{n}] \rangle$$

здесь \vec{j} – орт углового момента системы, $\vec{p}_{1,2}$ – импульсы частиц, \vec{n} – орт оси столкновения ядер.

Очевидно, что этот коррелятор не нарушает никаких симметрий, так что с его помощью нельзя отличить CP -нечётный эффект от CP -чётного.

Данный коррелятор является тензорным. Его можно измерить, так как для этого достаточно знать лишь положение оси, на которой лежит вектор \vec{j} . Неизвестно, однако, как найти направление \vec{j} .

При энергиях порядка 100 ГэВ на нуклон можно ожидать эффектов нарушения P -инвариантности на уровне 10^{-3} . Сильное взаимодействие в конечном состоянии приводит к тому, что эти корреляции приобретают T -нечётные добавки, пропорциональные $\sin \delta$, имитируя нарушение CP -инвариантности.

Таким образом, не видно, как можно обнаружить нарушение CP -инвариантности в столкновениях тяжелых ионов.

1. D. Kharzeev, R. D. Pisarski, and M. H. G. Tytgat, Phys. Rev. Lett. 81, 512 (1998).

2. D. Kharzeev and R. D. Pisarski, Phys. Rev. D 61, 111901 (2000).

3. L. E. Finch *et al.*, Phys. Rev. C 65, 014908 (2001).

4. S. A. Voloshin, Phys. Rev. C 70, 057901 (2004).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НУКЛОНОВ С АНТИНУКЛОНАМИ ПРИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЯХ С ПОМОЩЬЮ НЕЙМЕГЕНСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

С. Г. Сальников

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

Недавно коллаборацией PAX была предложена обширная программа исследований, связанных с поляризованными антипротонами. В связи с этим обсуждаются различные методы поляризации антипротонов. Наиболее реальной возможностью на данный момент является фильтрационный метод, использующий различие скоростей выбывания из пучка антипротонов с разными направлениями спина при рассеянии на поляризованной водородной мишени. Для описания этого процесса необходимо изучить рассеяние антипротонного пучка на поляризованной протонной мишени.

Теоретическое описание протон-антипротонного взаимодействия при энергиях менее 1 ГэВ усложнено тем, что квантовая хромодинамика не даёт численных предсказаний в этом диапазоне энергий. Для вычислений обычно используются феноменологические модели, однако полученные результаты часто являются модельно-зависимыми. Различные модели дают близкие предсказания для независимой от спина части сечения, но зависящие от спина сечения могут сильно отличаться. Улучшить описание взаимодействия можно, сравнивая результаты, полученные с использованием разных моделей.

Ранее была вычислена зависящая от спина часть сечения протон-антипротонного рассеяния с помощью парижского потенциала [1], и показана возможность получения заметной поляризации за время, сравнимое с временем жизни пучка. В моей же работе были проведены вычисления с использованием неймегенского потенциала [2]. Полученные мною результаты подтверждают возможность получения поляризованных антипротонов, хотя полученная зависимость степени поляризации от энергии качественно отличается от результатов парижской модели.

1. V. F. Dmitriev, A. I. Milstein, V. M. Strakhovenko, Spin effects in $p\bar{p}$ interaction and their possible use to polarize antiproton beams. NIM B 266, 1122 (2008).

2. R. Timmermans, Th. A. Rijken, J. J. de Swart, Antiproton-proton partial wave analysis below 925 MeV/c, Phys. Rev. C 50, 48 (1994).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВО ВРЕМЯ ВОЗМУЩЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ

Л. В. Тимофеев

Якутский государственный университет им. М. К. Амосова
Институт космофизических исследований и астрономии
им. Ю. Г. Шафера СО РАН

Проведено сравнение данных вариаций электрического поля, зарегистрированных с помощью электростатического флюксметра производства НИРФИ, с данными Якутского спектрографа космических лучей (КЛ) (нейтронного монитора и мюонного телескопа) для выявления предполагаемой теорией корреляции между электрическим полем и интенсивностью КЛ. За период с 1 мая 2009 года по 31 августа 2009 года было зарегистрировано 25 случаев прохождения грозового фронта, либо фронта мощных кучевых облаков, при которых напряженность электрического поля существенно увеличивалась (более ± 5 кВ/м). В семи случаях изменение поля в одну сторону было долговременным (около 9 часов) и в одном случае до 20 кВ/м около 1 часа (07-08:11:07:2009). Эти 8 событий и были рассмотрены.

Для анализа 4-х случаев повышения поля и 3-х случаев понижения был применен метод наложения эпох с часовым усреднением. Обнаруженное уменьшение темпа счета нейтронов на 0,3 % не зависит от знака отклонения атмосферного электрического поля. Аналогично ведет себя мягкая компонента КЛ (пороговая энергия ~ 3 ГэВ, медианная ~ 60 ГэВ) в сильном электрическом поле (± 5 кВ/м), более жесткая компонента (пороговая энергия $\sim 4,5$ ГэВ, медианная ~ 77 ГэВ) не реагирует. Вариация КЛ может быть объяснена дополнительным поглощением водой, содержащейся в дождевых облаках.

Выявлена значимая ($P < 0,05$) отрицательная 1 % вариация интенсивности нейтронов (пороговая энергия $\sim 1,65$ ГэВ, медианная ~ 15 ГэВ) во время часового повышения электрического поля до 20 кВ/м. В мюонах с медианной $E \sim 60$ ГэВ также наблюдалось понижение $\sim 0,3$ %, но не значимое, а для более высокоэнергичных мюонов вариации не обнаружены. Данная вариация не может быть полностью объяснена дополнительным поглощением водой.

Работа поддержана грантами РФФИ 08-02-00348-а, 09-05-98540-р_восток_a и программами Президиума РАН 16 и АВЦП проект № РНП 2.1.1/2555 и ФАНИ г.к.02.740.11.0248.

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

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЕТЕКТОРА КМД-3

С. А. Анохин

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

В Институте ядерной физики СО РАН с 2006 года на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 проводятся исследования в области физики элементарных частиц. В настоящее время на коллайдере начинает работать криогенный магнитный детектор КМД-3, разработанный для решения многочисленных физических задач. Система автоматизации детектора представляет собой сложный аппаратно-программный комплекс. Для повышения его эффективности и отказоустойчивости требуется специальное программное обеспечение, способное осуществлять оперативный анализ данных, поступающих непосредственно с оцифровывающей электроники детектора.

Данная работа посвящена разработке программного пакета, способного в режиме реального времени решать следующие задачи: фильтрация сырых событий перед их записью на постоянный носитель (третичный триггер), контроль работоспособности детектора, измерение светимости по событиям Баба-рассеяния. Важным аспектом являются жесткие требования к быстродействию и надежности пакета.

При реализации системы оперативного анализа за основу был взят пакет TLT, разработанный в 1997 для детектора КМД-2, использовавшегося на коллайдере ВЭПП-2М. К особенностям TLT можно отнести поддержку специального скриптового языка для задания алгоритма анализа данных.

На данный момент полностью переписана для нового детектора часть TLT, ответственная за анализ данных. Также, в силу того, что оригинальный пакет TLT был целиком написан на языке С, ведется разработка полностью нового пакета на языке С++ с учетом современных требований к дизайну ПО.

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

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПО УПРАВЛЕНИЮ МИКРОДОЗОВОЙ СИСТЕМОЙ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОГО КОТРОЛЯ (СРК) «СИБСКАН»

А. В. Басалаев, Д. О. Ким, Д. С. Кривашин
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в системах досмотра пассажиров при авиаперелетах наиболее остро стоит проблема досмотра пассажиров, основанная на использовании металлодетекторов, снимании одежды и обуви, а также не деликатном ощупывании подозрительных пассажиров сотрудниками службы безопасности аэропорта.

Для решения этой проблемы в ИЯФ СО РАН была разработана установка по бесконтактному досмотру пассажиров, принцип работы которой основан на проникающем рентгеновском излучении. Данный способ досмотра позволяет выявить запрещенные предметы как на поверхности тела человека(в его одежде и обуви), так и в его естественных полостях. Возможность обнаружения объектов в естественных полостях тела выгодно отличает систему «СибСкан» от установок, использующих в своей работе узкий пучок радиоволн или мягкого рентгена, которые могут производить только досмотр поверхности тела человека.

В рамках данной работы разрабатывается программный комплекс по управлению системой «СибСкан». Комплекс построен по модульному принципу и соответствует общепринятым на данный момент промышленным стандартам разработки программного обеспечения. Все модули программного продукта тем или иным образом взаимодействуют с ядром программного комплекса и могут быть условно поделены на три большие группы: модули по управлению механикой установки, модули по обработке изображений, полученных с установки, а также модули по отображению обработанных данных для анализа оператора.

На данный момент было реализовано ядро программного комплекса, отлажены модули по работе с механикой установки, реализованы фильтры для цифровой обработки данных с установки и ведется подготовка по интеграции системы в инфраструктуру аэропорта «Толмачево» г. Новосибирск.

1. С. Е. Бару, «Аэрокосмическое обозрение» 04, 2007 г., стр. 210-211.

2. С. Е. Бару, «Установка персонального досмотра для предотвращения терактов на стратегически важных объектах», Берг-коллегия, 7(58), 2009, с. 44-45

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. С. Е. Бару.

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОНИКОЙ ДЕТЕКТОРА КМД-3

С. Е. Гаязов

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

В Институте ядерной физики на ускорительном комплексе ВЭПП-2000 начинает работу детектор КМД-3. Для получения данных с детектора используются около 300 блоков оцифровки. При этом в различных режимах работы детектора используются различные подмножества блоков. Блоки оцифровки представляют собой сложные цифровые устройства, поведение которых зависит от программного кода, загружаемого в блок непосредственно перед работой.

В рамках данной работы были поставлены следующие задачи:

1. Построить отображения физических каналов блоков оцифровки на их положение в логике работы систем детектора.
2. Обеспечение возможности работы электроники детектора в разных режимах.
3. Инициализации и тестирования блоков оцифровки.

Для решения задачи первых двух задач была спроектирована база данных конфигурации. В ней хранится информация о принадлежности блоков оцифровки к подсистемам детектора. В этой же базе данных хранятся сведения о режимах работы детектора и соответствующий программный код для инициализации блоков оцифровки.

Для удобного использования базы данных конфигурации был реализован WEB-интерфейс, который отображает содержимое базы в удобном для пользователя виде, а также позволяет оперативно вносить изменения. WEB-интерфейс реализован так, что он полностью изолирует пользователя от внутренней структуры, то есть позволяет оперировать терминами подсистем детектора, блоков приема передачи данных и блоков оцифровки, не вдаваясь во внутреннее строение таблиц.

При решении третьей из поставленных задач был реализован программный интерфейс, переносящий данные из хранилища базы данных конфигурации в систему контроля и управления детектором. Также была реализована программа «фронтэнд», которая производит инициализацию и тесты блоков оцифровки, а также считывает экспериментальные данные поступающие с детектора.

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

ТРЕХМЕРНАЯ ГРАФИКА В СИСТЕМЕ FRICAS

П. В. Глотов

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

В любой научной деятельности всегда является важным представление результатов вычислений в удобном, а самое главное наглядном виде. Для этих целей используется множество программ для сложных вычислений и расчётов, облегчающих работу. Одной из таких программ и является система Fricas. Это усовершенствованная система компьютерной алгебры. Ее возможности варьируются от вычислений (интегрирование и дифференцирование) до абстрактной алгебры. Она особенно полезна для символьных вычислений, математических исследований и разработки новых математических алгоритмов.

Данная работа посвящена реализации трехмерной графики в системе Fricas с помощью пакета Geomview. Geomview - это интерактивная программа для рассмотрения и управления геометрическими объектами, первоначально написанная сотрудниками Центра Геометрии в университете Миннесоты. Она может использоваться как автономное средство просмотра для статических объектов или как механизм отображения результатов для других программ, которые производят динамически изменяющуюся геометрию.

Уже на первых этапах работы, для решения проблем взаимодействия данных программ, пришлось связаться с Вальдеком Хебишом (Waldek Hebisch), разработчиком системы Fricas, и в результате для нее был написан специальный патч, и уже в следующей версии программа вышла с этими изменениями. Т.к. Geomview строит необходимые поверхности, получая только конкретные команды, с четким синтаксисом, то первоочередная задача - это написать специальные функции для Fricas, которые бы преобразовывали свои данные, в команды, понятные этой графической программой, а также постараться охватить все команды для Geomview. Это позволит в дальнейшем использовать максимальную функциональность обеих программ.

Так как Fricas – это консольное приложение, работающее под Linux, то в дальнейшем планируется написать и интерфейс для этой программы, чтобы максимально облегчить работу с этими пакетами для пользователей. В конечном итоге все изменения и дополнения будут выложены в Интернет и включены в последующие версии программы.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук А. Г. Грозин.

РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ДЕТЕКТОРА DIMEX-3

А. В. Головизин

Новосибирский государственный университет

В Институте ядерной физики был разработан однокоординатный рентгеновский детектор синхротронного излучения DIMEX-3 с пространственным разрешением 0,2 мм и временным разрешением около 40 нс, являющийся развитием детектора DIMEX, предназначенного для рентгеновской съемки взрывных эксперимента.

Для работы с детектором был разработан программный пакет из двух программ: программы контроля детектора и снятия данных и программа постобработки.

Программа управления предназначена для управления детектором, его настройкой и снятием данных в реальном времени с нормировкой на коэффициент усиления каждого канала по эталонной равномерной засветке.

Программа для постобработки экспериментальных данных позволяет получить картину распределения поверхностной массовой плотности вещества вдоль координатной оси детектора в ходе взрыва. Для этого используются данные калибровки детектора с различной толщиной поглотителя при равномерной засветке. Кроме того, нивелируется влияние неисправных каналов.

В последнее время была проведена значительная переработка программного кода, улучшен графический интерфейс, добавлены несколько новых режимов работы (например, трехмерной развертки эксперимента), добавлено управление встроенным высоковольтным источником, повышена надежность и стабильность.

В настоящее время программа используется для отладки и испытаний детектора DIMEX-3 в его различных модификациях (газовая, прототип кремниевой).

Планируется также добавить в детектор поддержку блока управления периферийными устройствами.

Обе программы построены на кроссплатформенных библиотеках QT 4.6 и QWT 5.2. Эти библиотеки распространяются в виде открытого исходного кода и стали за последние годы промышленным стандартом при визуализации графической информации.

1. Development of a one-dimensional detector for the study of explosions with a synchrotron radiation beam Vladimir Aulchenko, Pavel Papushev, Sergey Ponomarev, Lev Shekhtman and Vladimir Zhulanov, SR2002 conference.

Научный руководитель – В. В. Жуланов.

РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА GPU НА ПРИМЕРЕ АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА

Е. М. Громов

Новосибирский государственный университет

Фильтрация сигналов и их последующая обработка — важные этапы любого эксперимента, которые, однако, не всегда могут быть формализованы. В таких случаях необходимо использование различных адаптивных методов, в том числе нейронных сетей.

Однако, нейронная сеть обладает сильным параллелизмом, что не позволяет добиться её высокой эффективности на CPU, GPU же имеет нужные для эффективной реализации качества: множество параллельно исполняемых потоков и высокая скорость передачи данных внутри GPU. В работе рассматриваются методы реализации нейронных сетей на GPU средствами языка CUDA, эффективность этой реализации, а также её отрицательные стороны, на примере адаптивного фильтра. Ожидается увеличение быстродействия работы нейронной сети по сравнению с реализацией на CPU.

Адаптивные фильтры применяют для очистки данных от нестабильных мешающих сигналов и шумов, перекрывающихся по спектру со спектром полезных сигналов, или когда полоса мешающих частот неизвестна или переменна. Для настройки параметров такого фильтра можно использовать модель обучения нейрона типа адалайн. Частотная характеристика такого фильтра будет автоматически регулироваться или модифицироваться в соответствии с заданным критерием.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент М. С. Тарков.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ВВОДА ИНФОРМАЦИИ СИНХРОННОЙ СИСТЕМЫ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ (СБИ)

Е. А. Гуреева

Филиал «Взлёт» Московского авиационного института

Развитие промышленности РФ потребовало увеличения числа испытаний авиационной техники, а повышение требований к точности определения характеристик испытываемого объекта привело к возрастанию роли бортовых и телеметрических измерений.

Задача телеметрии заключается не в простом измерении набора параметров, а, прежде всего в возможности оценить (сравнить) полученные данные. Поэтому важнейшей характеристикой РТС является точность сбора информации. В существующих РТС сбор данных с датчиков осуществляется посредством последовательной коммутации, при этом погрешность регистрации данных во времени составляет 6,7 мс, а при анализе требуется восстановление данных, что приводит к снижению точности системы (погрешность восстановления $\approx 3\%$).

В настоящее время, при испытании ЛА пятого поколения необходимо регистрировать данные с точностью до 1 мс. Одним из способов получения требуемой точности является переход к синхронной СБИ.

Синхронность достигается за счет замена последовательной коммутации датчиков на параллельную, в результате данные регистрируются практически одновременно, процесс восстановления данных не требуется, в результате повышается точность системы. Погрешность регистрации данных во времени определяется лишь быстродействием элементов, на базе которых строится устройство ввода информации, поэтому для ее снижения предлагается выполнить схему устройства на основе микроконтроллеров.

Для 200 датчиков с частотой опроса 100Гц быстродействие системы составляет 30 мкс (рис.1). Технический уровень проектируемого прибора: $J=5.25$. Уровень экономической эффективности новой техники с учетом предпроизводственных затрат составляет $E=1.03$, то есть разрабатываемое устройство является экономически эффективным.

Вывод: разработка предлагаемого устройства ввода информации является актуальной с технической стороны (отсутствие отечественных аналогов) и эффективной с экономической точки зрения.

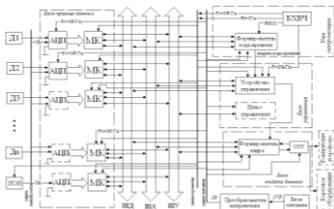


Рис. 1. Схема устройства ввода информации

Научный руководитель – канд. техн. наук А. Г. Тюхтяев.

ПРОГРАММА ЛАБОРАНТА ДЛЯ МАЛОДОЗНОЙ ЦИФРОВОЙ РЕНТГЕН-УСТАНОВКИ (МЦРУ) «СИБИРЬ-Н»

М. О. Каплин

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

МЦРУ «Сибирь-Н» представляет собой систему сканирующего типа, в которой изображение формируется с помощью однокоординатного приемника излучения, путем перемещения его вдоль исследуемого объекта. Установка состоит из рентгеновского излучателя с питающим его высоковольтным источником, штатива с механической системой сканирования, приемника рентгеновского излучения с электроникой регистрации и системы управления. В качестве приемника рентгеновского излучения используется газовая многоканальная ионизационная камера¹. Во время съемки излучатель и ионизационная камера одновременно и равномерно перемещаются в вертикальном направлении. По окончании сканирования изображение передается в память компьютера, где ведется его обработка.

Рентген-кабинет на базе МЦРУ «Сибирь-Н» включает в себя рентген-установку, автоматизированное рабочее место (АРМ) рентген-лаборанта, АРМ врача-рентгенолога. Каждое из АРМ представляет собой персональные компьютеры, укомплектованные специализированным программным обеспечением (ПО).

Существующий программный комплекс рентген-кабинета обладает неудобным пользовательским интерфейсом и устаревшей системой управления базами данных. Это подтолкнуло к созданию нового комплекса программного обеспечения.

На данный момент разработана программа для АРМ рентген-лаборанта. В новой программе реализованы все компоненты предыдущей программы лаборанта: регистрация пациентов, проведение обследований, обработка снимков. Помимо этого программа следит за режимом эксплуатации рентген-трубки, а также ведет расчет доз облучения пациентов в соответствии с таблицами МУК².

1. В. В. Поросев, Многоканальная ионизационная камера для цифровой рентгенографии. Диссертация. Новосибирск. ИЯФ СО РАН, 2002

2. Методические указания по методам контроля МУК 2.6.1.1797-03

Научные руководители – К. Г. Кармакулов, канд. физ.-мат. наук
В. В. Поросев.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЛЫХ КЛАСТЕРОВ НИКЕЛЯ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Р. А. Касаткин

Кемеровский государственный университет

В последние годы при решении задач исследования свойств веществ и соединений, а также характеристик процессов, при которых они возникают, все активнее применяется компьютерное моделирование.

Представленная работа посвящена исследованию характеристик нанокластеров никеля, состоящих из небольшого количества молекул - начиная от 100 до нескольких тысяч, при постоянной температуре методом молекулярной динамики (МД). Результаты сравниваются с результатами математического моделирования, полученного другими авторами.

В методе МД для описания движения атомов или частиц применяется классическая механика. Силы межатомного взаимодействия представляются в форме классических потенциальных сил. Усреднение пространственных конфигураций частиц, а также их скоростных и энергетических характеристик позволяет получать информацию о структуре ансамбля частиц и о термодинамических и кинетических свойствах системы. Такой подход позволяет получить макроскопические свойства систем.

В дальнейшем предполагается использовать данный метод для исследования больших систем атомов ($N > 10000$) и сравнение полученных характеристик с результатами экспериментов. Для ускорения планируется использовать технологии распараллеливания как на многопроцессорных системах, так и на графических процессорах, что позволит исследовать системы, ранее недоступные из-за своих размеров и требуемой вычислительной мощности.

1. Zhi Zhang, Wangyu Hu, Shifang Xiao Melting, Melting competition, and structural transitions between shell-closed icosahedral and octahedral nickel nanoclusters // Physical review, В 73, 125443, (2006), P. 1-7.

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

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОДУЛЬНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПАКЕТНЫХ СЕТЕЙ

А. В. Козлячков

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирский государственный университет
ООО «Сигнатек»

В наше время, в век информационных технологий, с появлением IP-телефонии возникла необходимость иметь возможность контролировать сети пакетной передачи данных. На настоящее время предприятием «Сигнатек», занимающимся разработкой телекоммуникационного оборудования, реализован многоканальный приемник, позволяющий обрабатывать и передавать сигнал со станций предоставляющих VoIP-сервисы на пульт управления. Данная система требует тестирования.

Для тестирования системы необходимо создать условия реальной работы VoIP-АТС (т.е. подсистему, имитирующую полезный и паразитный трафик), а также саму soft-АТС. В работе рассматривается разработка архитектуры и реализация тестового комплекса состоящего из 3 частей: подсистемы генерации трафика, подсистемы приема трафика и системы анализа полученных данных

Очень важно, чтобы ни на одном этапе обработки сигнала не была потеряна полезная информация. Поэтому тестирование должно быть модульное. Необходимо разработать версию модуля основанного на единой разрабатываемой библиотеке для разработки внутри проектов с единым интерфейсом, при помощи которого возможно объединять различные модули в единый процесс и/или разные процессы в единую систему. Межмодульные соединения должны позволять снятие промежуточных данных передаваемых между модулями. Это упростит локализацию и поиск ошибок в коде и логике работы комплексов. Данные соединения могут быть использованы на этапе конфигурации или на ранних этапах разработки путём перекомпиляции отладочных версий с необходимыми межмодульными соединениями. В конечном итоге должна быть реализована возможность пересылки всех интересующих межмодульных данных на общий узел анализа, где возможно провести комплексный анализ прохождения данных по цепочке обработки, выявить потерянные данные, неправильно обработанные или некорректное поведение системы.

Научный руководитель – канд. техн. наук С. Б. Лемешко.

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕТЕКТОРОВ
НА ОСНОВЕ ГАЗОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УМНОЖИТЕЛЯХ
В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ
РАССЕЯННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ЭКСПЕРИМЕНТА КЕДР**

В. Н. Кудрявцев

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

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 для лучшего подавления фона необходимо измерять координаты частиц перпендикулярно плоскости орбиты ускорителя и улучшить пространственное разрешение. Поэтому было принято решение модернизировать СРРЭ на основе координатных детекторов с газовыми электронными умножителями (ГЭУ) [2].

Детекторы на основе ГЭУ включены в состав СРРЭ. Создано ПО для их работы совместно с системой сбора данных эксперимента КЕДР. При этом реализованы жесткие требования на скорость и эффективность обработки данных. Так же написаны утилиты для наблюдения за состоянием детекторов.

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.

ПРОГРАММА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ ДЕТЕКТОРОМ КМД-3, НА ОСНОВЕ ПАКЕТА EVE

А. С. Леонов

Новосибирский государственный университет

В настоящее время в Институте ядерной физики на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 с энергией пучков в системе центра масс до 2 ГэВ начинает работать детектор КМД-3. Как для оператора детектора, так и для физиков, анализирующих данные, важно визуальное отображение состояния систем детектора, параметров восстановленных частиц, энерговыделение сработавших элементов детектора. Целью данной работы является создание программы визуализации данных, регистрируемых детектором.

Программа визуализации должна работать в двух режимах: в режиме реального времени для нужд оператора детектора, и в режиме оффлайн при дальнейшем анализе сохраненных данных, полученных с детектора. Также программа должна иметь удобный интерфейс для управления отображением систем детектора.

Для реализации программы была выбрана библиотека EVE, которая является частью пакета ROOT, широко используемого для анализа данных в физике высоких энергий. Пакет EVE предоставляет удобные инструменты для визуализации экспериментов физики высоких энергий, такие как построение треков частиц, автоматическая генерация двумерных проекций, удобные инструменты для отображения данных, полученных с калориметра.

Программа визуализации начинает использоваться на детекторе в режиме реального времени. В первой половине 2010 года планируется реализация программы в полном объеме

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

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАЧАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ В ОБЪЕМЕ ДЛЯ МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТОКОВ 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.

Задача томографической реконструкции подразумевает обработку больших объемов данных, что обуславливает высокую ресурсоемкость томографического метода. Одним из эффективных способов увеличить скорость обработки данных является применение способов оценки начального распределения частиц в объеме. Использование заданного распределения интенсивности в место равномерного в качестве исходного для томографической реконструкции позволяет добиться увеличения скорости обработки в несколько раз.

На основе существующих работ [2, 3] была разработана двухступенчатая схема оценки начального распределения интенсивности в объеме потока. Данная схема способна компенсировать погрешности калибровки до одного пикселя, позволяя добиться большей точности реконструированных изображений и снижая время обработки до 3х раз.

1. Elsinga G.E., Scarano F., Wieneke B., Oudheusden B.W. Tomographic particle image velocimetry // *Exp. Fluids*. 2006. 41. 933–947.

2. Worth N.A., Nickels T.B. Acceleration of Tomo-PIV by estimating the initial volume intensity distribution // *Exp. Fluids*. 2008. 45. 847–856.

3. Atkinson C., Soria J. An efficient simultaneous reconstruction technique for particle image velocimetry // *Exp. Fluids*. 2009. 47. 553–568.

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

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА КОНФИГУРИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

А. В. Макеев

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

При разработке крупных программных систем, состоящих из множества модулей, например, системы управления ускорительным комплексом, часто возникает задача конфигурирования. Разнородность информации и территориальное разнесение конфигурируемых объектов усложняют процессы управления и настройки. Возникает потребность в структурировании и централизованном хранении конфигураций.

В качестве такого хранилища может использоваться СУБД. Но при прямой работе с СУБД возникают проблемы. Прежде всего, с развитием системы увеличивается число таблиц БД. Это вызывает рост накладных расходов по расширению и поддержке функциональности. Помимо этого возникает проблема дизайна – вся система становится зависимой от конкретной СУБД. Последний недостаток можно разрешить использованием ORM[1], но и в этом случае возникает сильная зависимость, на этот раз от используемой реализации ORM.

Для увеличения гибкости системы конфигурирования и упрощения процесса сопровождения автором предлагается ввести промежуточный слой программного обеспечения. Этот слой является дополнительным уровнем абстракции и позволяет работать с хранилищем как с набором интуитивно понятных и логически связанных объектов – реляционной моделью.

Реляционная модель была разработана с учетом специфики структуры конфигурирующей информации. Основные ее свойства: возможность использования лишь необходимой части конфигурации, быстрый доступ к нужным конфигурируемым объектам, безопасное расширение модели.

Таким образом, разработанное автором программное обеспечение позволяет абстрагироваться от конкретного механизма хранения и прозрачно работать с единой системой конфигурирования как для ПО, так и для оборудования, избегая путаницы в семантических связях и денормализации хранимых данных [2].

-
1. Object/Relational Database Mapping - www.objectarchitects.de
 2. Rules of Data Normalization - www.datamodel.org

Научный руководитель – канд. техн. наук Д. Ю. Болховитянов.

ПРИМЕНЕНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

Р. А. Подгаевский

Новосибирская государственная академия водного транспорта

Для систем децентрализованного электро и теплоснабжения с ветроэлектростанциями (ВЭС) характерно непостоянство мощности, вырабатываемой ветроэнергетической установкой (ВЭУ) и переменный (в том числе резкопеременный) характер нагрузки.

Наиболее эффективное использование энергии ветра возможно только в составе системы, включающей независимые источники энергии (например, дизель-генератор (ДГ) и котельный агрегат (КА)), накопители электрической и тепловой энергии и систему автоматического управления.

В качестве накопителя электроэнергии перспективно использование электрохимических конденсаторов (ЭХК). Уникальные характеристики ЭХК позволяют решать наиболее значительные проблемы ВЭУ:

- передать ряд основных функций регулирования мощности ВЭУ с генераторного агрегата и его системы регулирования на ЭХК;
- согласовать несопадающие по времени, по характеру и по мощности графики генерации и потребления электроэнергии;
- оптимизировать мощность ДГ за счет компенсации пиковых нагрузок, что для энергосистем с резкопеременным характером нагрузки дает значительное уменьшение установленной мощности ДГ;
- уменьшить себестоимость электроэнергии за счет применения более простых схем и конструкций ВЭУ.

В децентрализованных энергосистемах также возможно использование накопителей тепловой энергии, включенных в систему теплоснабжения параллельно с КА. Энергия в тепловой накопитель поступает от автобалластной нагрузки, потребляющей излишки электроэнергии из энергосистемы. В качестве автобалластной нагрузки возможно использование нагревательных элементов различных типов и конструкций.

В работе рассматриваются:

- режимы работы и принципы построения автономной энергосистемы с ВЭС с использованием емкостных и тепловых накопителей;
- алгоритмы системы управления энергосистемой;
- сравнительная оценка себестоимости электрической и тепловой энергии в энергосистеме с накопителями и без.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент В. М. Зырянов.

ХРАНЕНИЕ И ОТОБРАЖЕНИЕ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ЖУРНАЛИРОВАНИЯ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ВЭПП-2000

А. И. Сенченко

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

Одной из важных задач, стоящих при разработке систем автоматизации для физических установок, является создание расширяемого и унифицированного программного обеспечения, что позволяет сократить количество однотипных программ, тем самым, упростив их поддержку и модернизацию.

Ускорительный комплекс ВЭПП-2000 (ИЯФ СО РАН) с точки зрения автоматизации состоит из большого числа разнообразных подсистем, в сумме дающих порядка 1000 каналов управления и 2000 каналов контроля и измерений. В то же время непрерывно меняющиеся условия работы требуют создания новых и модификацию существующих программ, что в свою очередь приводит к разрастанию набора программного обеспечения. В связи с этим на комплексе были начаты работы по унификации, одним из этапов которой является создание и введение в эксплуатацию единой системы журналирования.

В процессе постепенного введения в эксплуатацию системы журналирования были обнаружены некоторые особенности, которые не согласуются с тенденциями принятыми в разработке программного обеспечения на комплексе. Например, существенным оказалась высокая машинная ресурсоемкость при наблюдении каналов на длительных промежутках времени.

В результате работы были сформулированы направления развития системы журналирования:

- изменение внутренней структуры хранимых данных для лучшего их хранения и представления;
- перенос части логики на сторону СУБД;
- улучшение методов отображения в подсистеме on-line мониторинга.

Достижение поставленных целей основывается на более широком использовании предоставляемой СУБД функциональности, таких как хранимые процедуры и декомпозиция таблиц, а так же на разработке алгоритмов предобработки данных. Данная система будет служить основным источником данных для систем постобработки и анализа функционирования ускорительного комплекса ВЭПП-2000 и других физических установок.

Научный руководитель – чл.-корр. РАН Ю. М. Шатунов.

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ КОНФИГУРАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ВЭПП-4М

А. П. Трахимёнок

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

Ускорительный комплекс ВЭПП-4 представляет собой уникальную установку для проведения экспериментов со встречными электрон-позитронными пучками. Практически вся используемая в системе аппаратура разработана и изготовлена в ИЯФ – это различные виды ЦАПов, АЦП, модули для цифровой обработки сигналов, разнообразные релейные и транзисторные коммутаторы, линии задержки, измерители интервалов времени и т.п. В целом имеется полный набор радиоэлектронного оборудования, допускающего объединение в единую информационно-управляющую структуру с возможностью оперативной реконфигурации и дальнейшего развития.

В настоящее время в системе управления ВЭПП-4 для хранения конфигурации и управления настройками устройств используются программы и файлы в микроЭВМ «Одрёнок». Недостатками данного решения являются сложность внесения изменений, дополнительные посредники между внедряемыми в систему управления ПК и существующей базой данных, а также сложность сопровождения: архивирование, соблюдение целостности, визуализация и т.п.

Для решения этих проблем предлагается разработка и внедрение новой системы конфигурации на основе реляционной базы данных. Это позволит, во-первых, для взаимодействия с имеющимися устройствами и обработки данных использовать программное обеспечение, разработанное в ПК, во-вторых, расширить аппаратную платформу системы управления современными устройствами, в том числе, на основе распространённых промышленных архитектур. Такая система будет легко доступна для обслуживания, хорошо впишется в развивающуюся инфраструктуру комплекса, а также даст возможность дальнейшего развития и расширения. Для перехода на новую систему необходимо написание конвертера из старого формата базы данных в новый и обратно. К настоящему моменту разработана архитектура новой базы данных и написана большая часть программы-конвертера.

Научный руководитель – канд. техн. наук С. Е. Карнаев.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ НОВОЙ СИСТЕМОЙ ТЕРМОКОНТРОЛЯ ВЭПП-4М

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

Ускорительный комплекс ВЭПП-4М является уникальной установкой для проведения экспериментов со встречными электрон-позитронными пучками. Для обеспечения необходимой точности восстановления значения энергии частиц пучка в процессе экспериментов на коллайдере ВЭПП-4М разработана и внедрена система термоконтроля, обеспечивающая непрерывный процесс измерения температуры в нескольких сотнях точек с относительной точностью 0.06 град. Контроллеры системы также выполняют функцию защиты оборудования комплекса от перегрева.

Для регистрации температур в системе используются контроллеры, объединенные в единую сеть, к каждому из которых может быть подключено до 32-х термодатчиков. Программа регистрации температур, постоянно работающая в РС, каждую минуту опрашивает все контроллеры и записывает значения температур в базу данных параметров ВЭПП-4М. Для системы термоконтроля разрабатывается специальное ПО, позволяющее читать текущие значения, выставить пороги срабатывания на отключение оборудования для каждого датчика, а также графически отображать текущее значение температуры.

Для удобства использования сохраненных данных разрабатывается веб-интерфейс для доступа к базе, благодаря которому вне зависимости от места нахождения и используемого ПК имеется доступ к базе данных комплекса. К настоящему времени разработана архитектура веб-интерфейса и написана большая часть программы для взаимодействия с датчиками.

Научный руководитель – канд. техн. наук С. Е. Карнаев.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОНИТОРОМ ДОЗЫ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

В. Р. Шаяхметов

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

В настоящее время в Институте ядерной физики разрабатывается проект ускорительного комплекса терапии рака ионными пучками [1]. При облучении пациента необходимо контролировать положение и интенсивность пучка, выведенного из ускорителя, и тем самым обеспечивать правильную величину дозы облучения пациента.

Для решения этой задачи был разработан прототип монитора дозы на основе плоскопараллельной ионизационной камеры. Целью данной работы являлось создание системы управления, которая должна поддерживать требуемые условия, необходимые для работы детектора, и обеспечивать его взаимодействие с внешней средой. Разработанная система управления монитором дозы состоит из аппаратной и программной частей.

Одна из основных задач – поддержание постоянного давления в системе с заданной точностью, обновление газа в системе, ограничение расхода газа, что необходимо для обеспечения требуемой точности (0,3%). Для регулирования давления в системе была собрана установка и разработан ПИД регулятор, подобраны коэффициенты, в зависимости от требуемого давления и расхода газа. ПИД регулятор был реализован как отдельная программа с различными возможностями регулирования давления в системе. Вторая часть системы обеспечивает взаимодействие с медицинскими госпитальными системами. Основная ее функциональность направлена на получение данных о пациенте и проводимом обследовании из госпитальной системы и возвращении результатов обследования и полученной пациентом дозы.

В результате выполнения данной работы был создан аппаратно-программный комплекс, выполняющий поставленные задачи.

1. E. Levichev, V. Parkhomchuk, S. Rastigeev, A. Skrinisky, V. Vostrikov, M. Kumada, Carbon Ion Accelerator Facility for Cancer Therapy, XX RU-PAC, Novosibirsk, Russia, September 10-14, 2006

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

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПКМ НА ОСНОВЕ ПТФЭ И БЕНТОНИТА

Н. И. Аргунова

Якутский государственный университет им. М. К. Аммосова

Одним из перспективных способов получения нанокompозитов на основе полимеров является применение в качестве наполнителей слоистых силикатов [1]. В данной работе исследовано влияние бентонита на физико-механические свойства политетрафторэтилена (ПТФЭ). Бентонит - природный глинистый минерал, содержащий до 70 % монтмориллонит, относящийся к подклассу слоистых силикатов. Образцы ПТФЭ содержали бентонит, выдержанный в растворе HCl до значения pH 3,0, затем от содержания анионов Cl⁻ (*отмытый*), и для сравнения исходный бентонит (*не отмытый*) в количестве 1, 2, 5, 7, 10 мас. %. Физико-механические характеристики образцов композитов определяли по ГОСТ 11262-80 на разрывной машине «UTS-2». Результаты исследования приведены в табл.

Табл. Физико-механические свойства ПКМ на основе ПТФЭ и бентонита

Образец		Относительное удлинение при разрыве, ϵ_p , %	Предел прочности при разрыве, σ_p , МПа	Модуль упругости, E, МПа
ПТФЭ		420	21	525
ПТФЭ +1 мас.%	отмытый	468	22	520
	не отмытый	462	16	662
ПТФЭ + 2 мас.%	отмытый	342	20	547
	не отмытый	312	15	590
ПТФЭ +5 мас.%	отмытый	235	14	562
	не отмытый	228	12	580
ПТФЭ + 7 мас.%	отмытый	229	13	668
	не отмытый	188	13	589
ПТФЭ + 10 мас.%	отмытый	170	12	524
	не отмытый	87	10	560

Анализ результатов показывает, что ПТФЭ, содержащий бентонит, выдержанный в растворе HCl характеризуется более высокими значениями предела прочности и относительного удлинения при разрыве. Очевидно, отмытый бентонит обладает более высокими адсорбционными свойствами, что обуславливает более эффективное межфазное взаимодействие между наполнителем и полимерной матрицей.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент С. А. Слепцова.

НАНОРАЗМЕРНЫЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕФЕКТЫ В КРИСТАЛЛАХ LiF, ОБЛУЧЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

Т. В. Баймурзин, А. Г. Мухьшбаева, Б. Юсупбекова
Междисциплинарный научно-исследовательский комплекс, г. Астана
Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана

Представлены экспериментальные результаты по облучению кристаллов LiF на ускорителе ДЦ-60 (Астана, Казахстан). Кристаллы облучались ионами 195 МэВ Xe^{+20} , 117 МэВ Kr^{+13} , 18 МэВ N^{+2} . Поверхностные дефекты изучались с помощью высокоразрешающей сканирующей электронной (СЭМ) и атомно-силовой микроскопией (АСМ).

Для исследования треков при 300К СЭМ, облучённые кристаллы фторида лития были протравлены. На облучённой поверхности кристалла прекрасно видны на СЭМ изображения углубления от каждого трека после травления. Вследствие кубической структуры решётки LiF вытравленные ямки имеют пирамидальную форму. Исследование той же поверхности на АСМ дает глубину ямки травления, равную 90 нм. Из оптических измерений радиус трека для иона азота составляет 4 нм, а длина пробега 11 мкм, рассчитанная с использованием программы SRIM-2008, то есть пирамидальная ямка травления - это возбужденная ионом область. Анализ измеренных топографических АСМ снимков непротравленных поверхностей показал, что все кристаллы обнаруживают после облучения различными ионами появление наноструктур - выступающих крошечных бугорков (hillock). Число бугорков наблюдаемых на единицу площади поверхности находится в соответствии с флюенсом ионов с погрешностью в 10 %. Высоты были получены из топографической микрографии. Средние значения высот были оценены с помощью соответствующей функции Гаусса для каждой высотной гистограммы для ионных облучений. Если рассматривать по значениям электронных потерь энергии 1,65 кэВ/нм для азота, 12,11 кэВ/нм для криптона и 18,85 кэВ/нм для ксенона, то можно наблюдать увеличение высоты бугорков от 13 нм, 24 нм и 39 нм, соответственно, средняя неровность необлученной поверхности составляет 5 нм.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Т. Акилбеков, канд. физ.-мат. наук, доцент А. К. Даулетбекова.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ, СВАРЕННЫХ ВЗРЫВОМ

И. А. Батаев, В. И. Мали, Д. В. Павлюкова, Т. В. Журавина, Е. Б. Макарова
Новосибирский государственный технический университет
Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

Эффективным технологическим процессом соединения разнородных металлов в твердом состоянии является сварка взрывом. Сварное соединение получается в результате высокоскоростного наклонного соударения пластин, вызванного направленным взрывом заряда взрывчатого вещества. Данный метод позволяет получать высококачественные слоистые композиционные материалы с высоким комплексом механических свойств.

В работе исследовались структура и свойства девятислойных композитов, полученных методом сварки взрывом листовых заготовок из сталей 20 и 60Г толщиной 1 мм. Сталь 20 в исходном состоянии имела феррито-перлитную структуру с перлитом пластинчатого типа. Сталь 60Г находилась в феррито-цементитном состоянии. Цементитные частицы имели форму глобулей и равномерно распределялись в ферритной матрице. Структурные особенности применяемых для сварки сталей позволили металлографически надежно выявить особенности пластической деформации материала в зоне соединения. Установлено, что границы соединения всех пластин в композитах имеют характерную волнообразную форму. Длина и амплитуда волн определяются технологическими параметрами сварки взрывом, геометрическими параметрами соединяемых пластин и свойствами сталей. На основании анализа результатов исследования сделан вывод о различии прочностных характеристик даже в пределах отдельно взятой границы раздела. В работе также произведена оценка микротвердости отдельных участков сваренных пластин. Различные значения микротвердости были зафиксированы в исходной микроструктуре сталей 20 и 60Г, в деформированных областях и зонах завихрений. Вдоль границ раздела пластины подвержены сильной пластической деформации. Строение стали 20 позволяет наблюдать процессы, происходящие в зоне сопряжения соединяемых пластин. Зерна феррита, расположенные в непосредственной близости к границе раздела пластин, в результате интенсивной деформации приобретают характерную для процесса обжатия вытянутую форму. Произведена оценка толщины деформированного слоя различных участков свариваемых слоев. Показано, что отношение толщины интенсивно деформированного слоя в зоне гребня волны к толщине слоя в зоне впадины составляет $\sim 0,5-0,6$.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СВАРНЫХ ШВОВ КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВАРКИ ВЗРЫВОМ

И. А. Батаев, А. А. Руктуев

Новосибирский государственный технический университет

Сварка взрывом – один из наиболее эффективных способов получения неразъемных соединений разнородных материалов. Метод позволяет получить высококачественное соединение между различными материалами, за счет высокоскоростного соударения. Известно, что граница раздела между сваренными пластинами часто имеет волнообразную или вихреобразную форму. Структура материала в зоне этой границы имеет большое значение в случае использования сварки взрывом для получения многослойных композиционных материалов. Несмотря на то, что исследованию механизма волнообразования посвящено много работ, структура материала, формирующегося на границе раздела свариваемых пластин, изучена недостаточно подробно.

Выполнена работа по исследованию особенностей структуры, формируемой на границе раздела свариваемых пластин. Исследования проводились на образцах, представляющих собой пакет из 9 пластин толщиной 1 мм, при этом в качестве свариваемого материала использовались пластины из стали 60Г и стали 20, которые чередовались между собой. Металлографический анализ показал, что на полученных образцах в зоне стыка наблюдается вихреобразная структура, в которой можно выделить ряд характерных зон. В зоне вихрей обнаружено наличие мартенситной структуры, в центре которой наблюдаются поры. При исследовании шлифов, приготовленных параллельно границе раздела пластин, было обнаружено, что эти поры, скорее всего, образуются при закручивании кумулятивной струи, когда перед ней проходит деформация материала, что приводит к захвату газа и частичек, выносимых кумулятивной струей. Вокруг мартенситной области формируется зона мелких равноосных зерен, полученных в результате рекристаллизации, произошедшей при остывании мартенситной зоны. Третий характерный участок – это зона сильнодеформированных зерен. Интерес представляет измерение микротвердости вдоль границы раздела. Измерение микротвердости мартенситных зон проводилось с целью определения примерного химического состава. Данные исследования показали, что микротвердость вихрей, входящих в сталь 20 несколько ниже, чем вихрей, входящих в сталь 60Г.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. А. А. Батаев,
проф. В. Г. Буров.

РАЗРАБОТКА СЕНСОРА ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА С ПЛЕНОЧНОЙ НАНОСТРУКТУРОЙ

И. А. Болдов

Институт автоматики и электротехники СО РАН
Новосибирский государственный университет

Одна из задач современных нанотехнологий связана с разработкой различного рода датчиков и сенсоров. Использование оптического волокна как основы для такого рода датчиков является наиболее перспективным, т.к. возможна реализация только оптической схемы дистанционного детектирования. Инертность материала, из которого оно изготовлено (диоксид кремния), размер несколько десятков микрон, нечувствительность к электромагнитным помехам, малое затухание светового сигнала, высокая пропускная способность канала информации, позволяют использовать его, в том числе в агрессивных и взрывоопасных условиях.

В работе исследованы сенсорные свойства различных красителей на основе перилоцианина и золь-геля кремнеземных наносфер диаметром 8-10 нм, нанесенных как на стеклянные подложки, так и на поверхность оптических волокон. Аналитом для таких красителей являются аминоксодержащие вещества. Пленка из функциональных наночастиц кремнезема наносилась на торцы оптических волокон различного диаметра от 125 мкм до 600 мкм. Возбуждающее люминесценцию красителя излучение заводилось с противоположной стороны волокна. Люминесценция измерялась в обратном направлении через отсекающий накачку светофильтр. Установлено, что в зависимости от типа красителя при химической реакции с бутиламином люминесценция пленочной наноструктуры либо сдвигалась в коротковолновую область спектра, либо проявлялась в виде новой полосы. Для увеличения детектируемого сигнала люминесценции от пленочной наноструктуры поверх неё формировалась фотонно-кристаллическая (ФК) пленка опала. ФК пленки опала наносились методом подвижного мениска из лиофобных суспензий частиц кремнезема с диаметром, который обеспечивал перекрытие стоп-зоны ФК с пиком люминесценции функционального красителя. Применение ФК «зеркала» позволило увеличить регистрируемый сигнал люминесценции в 3–4 раза. Кроме того, ключевым моментом применения ФК пленки явилось пористость её структуры, позволяющая аналиту проникать в сенсорную пленку с рецепторными молекулами.

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

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИТОВ Cu-Ga, Cu-Ga-Sn, Cu-In-Ga-Sn и Fe-Ga

Д. В. Брагин

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Металлические системы, получаемые путем смешения твердых компонентов с жидким металлом, в качестве которого можно использовать легкоплавкий галлий, представляют интерес в качестве металлических цементов и металлических клеев. При взаимодействии галлия с твердым компонентом образуются фазы различных интерметаллидов с участием галлия, что и ведет к затвердеванию исходной смеси и образованию композитов, состоящих из нескольких твердых фаз. Однако фазовые превращения, происходящие в процессе кристаллизации, изучены недостаточно детально.

В настоящей работе рассмотрено взаимодействие интерметаллидов на основе меди и железа, полученных механохимическим методом синтеза, с жидким галлием.

Целью работы было определение фазового состава и структуры материалов, образующихся в результате взаимодействия металлов (Cu, Fe) и интерметаллидов (Cu-Sn, Cu-In) с галлием, при различных температурах и различных временах механохимической активации.

Образцы были синтезированы в Институте химии твердого тела СО РАН. Твердые растворы $\text{Cu}_{1-x}\text{Sn}_x$, $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x$ были получены методом механохимического синтеза с использованием шаровой мельницы АГО-2. Исследованные нами композиты получались путем смешения твердых растворов $\text{Cu}_{1-x}\text{Sn}_x$, $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x$ с жидким галлием или жидким раствором на основе галлия. Далее затвердевание (кристаллизация) осуществлялась при температурах 90, 120, 160 °С. Образцы Fe-Ga были синтезированы при различных временах м/х активации, от 40 сек. до 20 мин.

В результате выполнения данной работы установлены фазовый состав и микроструктура образцов. Показано, что в системах: Cu - Sn- Ga, Cu-Sn-Ga- Sn, Cu-In-Ga образуется интерметаллид CuGa_2 и выделяются в виде отдельного металла Sn либо, соответственно, In. В системе Cu-In-Ga-Sn, наряду с интерметаллидом CuGa_2 , образуется интерметаллид InSn_4 . Также уточнены параметры решетки обнаруженных кристаллических фаз и показано, что фазовый состав образцов не зависит от температуры их кристаллизации. В системе Fe-Ga показано образование интерметаллида FeGa_3 , в образцах начиная с 4 мин. м/х активации.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук С. В. Цыбуля,
д-р. хим. наук Т. Ф. Григорьева.

СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЕРРИТА СТРОНЦИЯ, ДОПИРОВАННОГО СВИНЦОМ

И. В. Веснина

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН
Новосибирский государственный университет

Перовскито-подобные оксиды, на основе феррита и кобальтита стронция, обладают высокой смешанной кислород - электронной проводимостью и являются перспективными материалами для создания кислород проницаемых мембран [1].

Одной из гипотез, объясняющих высокую кислородную подвижность, является наличие в данных оксидах нанодоменной текстуры [2]. Возможным механизмом наноструктурирования в перовскито-подобных оксидах является двойникование в результате сегнетоэластичных фазовых переходов [3]. Как известно, свинец является сегнетоактивным элементом. В связи с этим, целью работы являлось установление влияния сегнетоактивной примеси свинца на структуру, фазовые превращения и транспортные свойства феррита стронция - SrFeO_{3-x} , обладающего высокой кислородной проницаемостью.

В работе изучены образцы состава $\text{Sr}_{1-x}\text{Pb}_x\text{FeO}_{3-z}$ ($x = 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3; 0,5$), синтезированные стандартным керамическим методом. Дифрактометрические исследования проведены на дифрактометре Bruker D8 Advance ($\text{CuK}\alpha$ излучение); выполнен фазовый анализ и определены структурные параметры для обнаруженных фаз. Изучено влияние свинца на микроструктуру феррита стронция. Проведена высокотемпературная рентгенография для образцов $\text{Sr}_{1-x}\text{Pb}_x\text{FeO}_{3-z}$ со степенью замещения свинцом $x=0,05$ и $0,5$; в температурном интервале от 30°C до 1000°C в вакууме исследованы структурные превращения образца состава $\text{Sr}_{0,95}\text{Pb}_{0,05}\text{FeO}_{3-z}$. С помощью хронопотенциометрических исследований при анодной поляризации в гальваностатическом режиме оценена кислородная подвижность в образцах с $x = 0,05$ и $0,1$.

1. J. Sunarso, S. Baumann, J. M. Serra, W. A. Meulenber, S. Liu, Y. S. Lin, J. C. Diniz da Costa, *Journal of Membrane Science*, 320, 13 (2008).

2. A. Nemudry, N. Uvarov, *Solid State Ionics*, 177, 2491 (2006).

3. N. Orlovskaya, N. Browning, A. Nicholls, *Ferroelasticity in mixed conducting LaCoO₃ based perovskites: a ferroelastic phase transition*, *Acta Materialia* 51, 5063–5071 (2003).

Научный руководитель – канд. хим. наук А. П. Немудрый.

ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОБЛОКИРОВКИ ДИСЛОКАЦИЙ В МАГНИИ

А. М. Власова

Институт физики металлов УрО РАН

Эффект автоблокировки, заключающийся в превращении дислокаций при нулевом внешнем напряжении из скользящих конфигураций в заблокированные, был обнаружен в интерметаллидах $Ni_3(Al, Nb)$ и $TiAl$ [1]. Однако до сих пор эффект не был обнаружен в простых металлах. При исследовании металлов с ОЦК-решеткой, таких, как Mo и Fe эффект автоблокировки не наблюдался [2]. Выбор магния был связан с наблюдением в магнии при пирамидальном скольжении температурной аномалии предела текучести. В предшествующих работах получены доказательства того, что оба эффекта - аномалия предела текучести и автоблокировка – имеют единую природу: двухдолинный потенциальный рельеф дислокации. Именно поэтому можно было ожидать, что магний окажется первым из простых металлов, в котором будет обнаружена автоблокировка дислокаций.

Природа автоблокировки в металлах, проявляющих температурную аномалию предела текучести, обусловлена строением ядра дислокации. Переход из мелкой долины в глубокую соответствует перестройке ее ядра, движущая сила этого процесса определяется разностью в глубине долин.

Выяснялась возможность автоблокировки при нагреве без нагрузки предварительно деформированного магния. При наблюдении автоблокировки определялся тип дислокаций, образующих заблокированную конфигурацию и устанавливалась их ориентация.

Автоблокировка дислокаций в поликристаллическом магнии после деформации 32 % и последующего отжига в течение 2 ч при 350 °С возможна. Автоблокировку, вероятно, испытывают краевые сегменты $(a+c)$ -дислокации, вытягиваясь вдоль выделенного направления $\langle 10\bar{1}0 \rangle$. Заблокированные после отжига в течение 2 ч при 350 °С дислокации устойчивы при дальнейшем нагреве в течение 24 и 200 ч.

1. Б. А. Гринберг, М. А. Иванов. Некоторые особенности образования и разрушения дислокационных барьеров в интерметаллидах. V. Однодолинный и многодолинный потенциальный рельеф дислокации, ФММ. 2009. V.105, № 6, pp. 578–593.

2. Б. А. Гринберг, М. А. Иванов, Н. А. Кругликов, О. В. Антонова. О возможности автоблокировки дислокаций в различных материалах, ФММ. 2009. V. 108, № 1, pp. 93–104.

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

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИТОГО АЛЮМИНИЯ

А. Ю. Голиков, Е. Д. Головин, В. А. Кузнецов, Т. И. Савенко
Новосибирский государственный технический университет
ООО «Сибирский центр литейного производства»

Обеспечение литым изделием более высоких эксплуатационных и механических свойств возможно путем различных методов воздействия на расплавленный металл. В последнее время одним из таких эффективных и универсальных методов управления структурными составляющими расплава, а, следовательно, и процессом формирования заданных свойств при кристаллизации, является процесс модифицирования ультрадисперсными порошками тугоплавких соединений.

В данной работе представлены результаты по модифицированию алюминия марки АД0 промышленным модификатором K_2ZrF_6 , нанодисперсными порошками двух типов: $TiCN+Cu$ и $TiC+Cu$, и двумя видами лигатур: $TiCN+Cu$ и $Al-Mg-Zr-B$. Плавка алюминия осуществлялась в индукционной печи ИСТ 1/0,16, при наведении активного покровного флюса NaF . При выполнении работы было получено 6 отливок, из которых были изготовлены шлифы для металлографических исследований и цилиндрические образцы на статическое растяжение.

Макроструктура полученных образцов свидетельствует об измельчении ее составляющих на несколько порядков. Анализ микроструктуры модифицированных отливок показывает наличие в металле двух типов кристаллов – дендритных и полиэдрических, соотношение этих кристаллов незначительно отличается, в целом же структуры весьма схожи.

Испытание образцов на статическое растяжение показали, что добавки всех модификаторов привели к повышению предела прочности литого металла. При этом уровень предела текучести остался одинаковым для всех отливок. Наибольшее значение предела прочности показали отливки, модифицированные порошком $TiCN+Cu$, и лигатурой $Al-Mg-Zr-B$. Однако, добавки оказали разное воздействие на пластичность алюминия. Наибольшее значение пластичности имеет отливка, модифицированная лигатурой $Al-Mg-Zr-B$. Близкий уровень пластичности показал материал с добавками промышленного модификатора K_2ZrF_6 . Росту пластичности способствует также порошковый модификатор $TiCN+Cu$, однако, в этом случае величина относительного удлинения меньше, чем у алюминия, обработанного промышленным модификатором K_2ZrF_6 .

Научные руководители – д-р техн. наук, проф. А. А. Батаев, проф. В. Г. Буров.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ЗЕРЕН МИШЕНИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТАВА ИОННОГО ПУЧКА НА ФОРМИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ПРОФИЛЕЙ ИМПЛАНТИРУЕМЫХ АТОМОВ В ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

Т. С. Грекова

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского

В данной работе анализируются закономерности массопереноса, обнаруженные в работах [1, 2] при исследовании структурно-фазовых превращений в металлических материалах после воздействия ионными пучками в частотно-импульсном режиме. Имплантация ионов титана в никелевые мишени [1] осуществлялась пучком источника «Радуга-5» при ускоряющем напряжении 20 кВ, флюенсе $0,3 \cdot 10^{18}$ – $2,9 \cdot 10^{18}$ ион/см² и температуре 850–1000 К. Облучение образцов титана в различных структурных состояниях [2] проводилось ионами источника «Диана-2» при ускоряющем напряжении 60 кВ, дозе $5 \cdot 10^{17}$ ион/см² и температуре образцов 420К. Измеренные методом оже-электронной спектроскопии концентрационные профили титана в никеле характеризуются широкими максимумами и аномально глубоким проникновением внедряемых ионов, а для никеля в титане наблюдаются два максимума, положение и вид которых зависят от структуры мишени. Помимо этого, в последних значительно увеличивается содержание кислорода, оседающего, по видимому, на поверхность материалов из остаточной атмосферы в камере и внедряемого в виде атомов отдачи. При описании наблюдаемых закономерностей массопереноса учитывается энергетически неоднородный состав пучка, поскольку в используемых источниках с дуговым разрядом генерируются ионы в различном зарядовом состоянии. В результате моделирования установлено, что первоначально при малой дозе внедренных ионов примесь распределяется статистическим образом. С ростом флюенса и, соответственно, концентрации генерируемых ионным пучком дефектов структуры начинают вносить вклад термическая и радиационно-стимулированная диффузия, а также процессы распыления поверхности образцов с различной степенью интенсивности.

1. I. A. Kurzina, I. A. Bozkhov, M. P. Kalashnikov и др. // Известия ВУЗов. Физика. – 2006. – № 8. – Приложение. – С. 211-214

2. Т. В. Вахний, Г. А. Вершинин, Ю. П. Шаркеев и др. // Изв. вузов. Физика. – 2009. – №11/2. – С. 232-237

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

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ К ИССЛЕДОВАНИЮ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНДЕНСИРОВАННЫХ ПЛЕНОК

И. В. Гринев, В. В. Зубков, В. М. Самсонов
Тверской государственный университет

На основе метода функционала плотности проведены расчеты распределения плотности в равновесных леннард-джонсовских пленках. Рассматривались как очень тонкие адсорбционные, так и смачивающие слои. Было установлено, что профили плотности характеризуются наличием выраженных максимумов, которые свидетельствуют о высокой степени позиционной упорядоченности молекул в слое.

Основными входными параметрами при расчетах были: относительное давление $s = P/P_s$, где P_s — давление насыщенного пара, приведенная температура $\tau = T/T_c$, где T_c — критическая температура для данного вещества, отношения размерных $\sigma_s^* = \sigma_s/\sigma$ и энергетических $\varepsilon_s^* = \varepsilon_s/\varepsilon_s$ параметров парного потенциала, характеризующего взаимодействие между молекулами адсорбента и адсорбата соответственно.

В результате расчетов было установлено:

Увеличение относительного давления приводит не только к возрастанию величины плотности, но и к появлению дополнительных монослоев в адсорбционном слое.

Увеличение приведенного энергетического параметра подложки приводит к аналогичному эффекту.

Увеличение же температуры приводит к некоторому уменьшению плотности (и степени заполнения слоя). Поведение плотности в целом остается тем же, но появление второго пика происходит при большем значении энергетического параметра подложки.

Можно заключить, что увеличение размеров атомов подложки по сравнению с размерами атомов адсорбата уменьшает адсорбцию.

Научные руководители – д-р. физ.-мат. наук, проф. В. М. Самсонов, канд. физ.-мат. наук В. В. Зубков.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНО–ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ НИКЕЛИДА ТИТАНА, СФОРМИРОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.

Е. Ю. Гудимова, Л. Л. Мейснер, М. Г. Дементьева
Томский государственный университет
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Модификация поверхностных слоев материалов с использованием концентрированных потоков электронов приводит к образованию градиентных структурно-фазовых состояний. В этих слоях изменяются прочностные и физико-химические свойства материала. Изучение неравновесных структурно-фазовых состояний, сформированных в результате электронно-лучевой обработки, возможно с использованием методов рентгеноструктурного анализа.

Целью работы является исследование влияния импульсных электронно-пучковых воздействий на структурно-фазовые состояния в приповерхностных слоях никелида титана.

В работе исследовались плоские образцы из сплава $Ti_{49,5}Ni_{50,5}$, которые подвергались импульсным электронно-пучковым воздействиям с использованием источника сильноточных электронных пучков низкой энергии при следующих параметрах воздействия: плотность энергии пучка электронов от 15 Дж/см^2 до 30 Дж/см^2 ; длительность импульса электронно-пучкового воздействия $\tau = 150 \text{ мкс}$, количество импульсов $N = 5$. Рентгеновские исследования структурно-фазовых состояний фаз, формирующихся в приповерхностных слоях $TiNi$, проводили на дифрактометре ДРОН-7 в CoK_{α} -излучении, сразу и через год после электронно-лучевой обработки.

Установлено, что после электронно-лучевой модификации поверхности образцов из $Ti_{49,5}Ni_{50,5}$ на рентгеновских дифракционных картинах присутствуют следующие фазы: высокотемпературная B2 фаза, мартенситная фаза B19' и фаза Ti_2Ni . Выявлено, что при увеличении плотности энергии электронного пучка от $E_1 = 15 \text{ Дж/см}^2$ до $E_4 = 30 \text{ Дж/см}^2$ существенно возрастает объемная доля мартенситной фазы–B19' от 3об.% до 70об.% и увеличивается значение параметра элементарной ячейки фазы B2 от $a = 3,0086 \text{ \AA}$ до $a = 3,0137 \text{ \AA}$. Размеры D областей когерентного рассеяния фазы B2 $D \geq 100 \text{ нм}$. Установлено, что через год после обработки выявленные ранее зависимости объемных долей фаз и их параметров решеток от параметров пучков изменились мало.

Работа выполнена в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН по проектам СО РАН № 3.6.2.1, № 57.

ТЕРМОАНАЛИТИЧЕСКОЕ И РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ОБРАЗЦАХ МОНТМОРИЛЛОНИТОВЫХ ГЛИН

Я. А. Джулай

Новосибирский государственный университет

В недавних работах по исследованию древней керамики было замечено, что после прокаливания образцов на дифрактограмме наблюдается изменение одного единственного рефлекса с межплоскостным расстоянием $3,2 \text{ \AA}$ ($2\theta = 28^\circ$ на CuK_α излучении), что, представляется маловероятным или по крайней мере очень необычным для образцов переменного состава. В связи с этим в настоящей работе ставилась задача получения физико-химических данных о структурных и термических изменениях в слоистых алюмосиликатах, которые могли бы пролить свет на это явление.

Монтмориллонит, основной компонент керамических смесей, использовавшийся в древности для изготовления сосудов - глинистый минерал, относящийся к подклассу слоистых силикатов. Нами исследовались образцы монтмориллонитовых глин, полученные из музея Института геологии и минералогии (Новосибирск) и ЦНИИГеолнеруд (Казань).

Термоаналитические исследования проводились на термовесах TG-209 Netzsch в диапазоне температур от комнатной до 850°C . Измерялась потеря массы за счет дегидратации (в интервале температур от 20 до 350°C) и дегидроксиляции (в интервале температур от 400 до 750°C). Порошковые дифрактограммы были получены на GADDS V4.1.-02 Bruker на CuK_α излучении с графитовым монохроматором. Из всех изученных образцов было выбрано два, для которых были проведены детальные исследования. После прокаливания при разных температурах измерялись рентгеновские дифрактограммы для определения связи между потерей H_2O и OH^- с одной стороны и изменением рефлекса с межплоскостным расстоянием $3,2 \text{ \AA}$ с другой стороны.

Результаты нашей работы показали, что рефлекс с межплоскостным расстоянием $3,2 \text{ \AA}$ действительно проявляется на образцах глины, но на разных образцах по-разному. Это даёт возможность использовать его как индикатор источника глинистого компонента при изготовлении древних керамических изделий.

Научный руководитель – канд. хим. наук В. А. Дребущак.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕНОМЕТАЛЛОВ

С. С. Добросмыслов, Е. И. Степанов
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Пенометаллы обладают рядом уникальных механических электрических и теплофизических свойств, а также малой плотностью [1], что позволяет использовать их в качестве проводящей среды при высоких температурах [2]. Особый интерес представляют высокотемпературные свойства пенометалла, благодаря которым в процессе теплопроводности в пористом материале начинает доминировать радиационная составляющая [3].

В ходе работы был рассмотрен ряд аналитических моделей для зависимости электропроводности от температур [1], проведено численное моделирование процессов электропроводности и теплопроводности, поставлен эксперимент для определения зависимости теплопроводности и электропроводности от температуры.

Проведенные экспериментальные исследования и результаты численного моделирования показали, что электропроводность имеет линейную зависимость от температуры, что наиболее хорошо согласуется с моделью Lemlich (1).

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{1 - V_p}{3}, \quad (1)$$

где σ – электропроводность пенометалла, σ_0 – электропроводность без пористого материала, V_p – объем, занимаемый порами.

Теплопроводность пенометалла, при комнатной температуре имеет линейную зависимость от пористости. При высоких температурах (800 °С) начинает доминировать радиационная составляющая теплопроводности, которая возрастает с увеличением пористости. В диапазоне температур 0 – 900 °С конвективная составляющая практически на два порядка меньше кондуктивной и радиационной.

1. Goodall R. ,Weber L. ,Mortensen A, Journal of Applied Physics. 100 044912 (2006).

2. Kirko V. I. Stepanov E.I., Dobrosmislov S.S., Gusev A.O , Simakov D.A., Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 3 256 (2008)

3 B. Zeghondy, E. Iacona , J. Taine, International Journal of Heat and Mass Transfer 49 (2006) 2810–2819.

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

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ 1-ВИНИЛ-1,2,4-ТРИАЗОЛА С КРОТОНОВЫМ АЛЬДЕГИДОМ И НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

А. И. Емельянов, А. С. Поздняков, Т. Г. Ермакова
Иркутский государственный технический университет
Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН

В связи с развитием нанотехнологий, все большую актуальность приобретают исследования в области гибридных материалов на основе высокомолекулярных соединений и наночастиц различных металлов. В подобных материалах наблюдается эффект синергизма уникальных свойств наноразмерной металлической фазы и полимерной матрицы (оптических, биологически активных, магнитных, мембранных и т.д.), который дает возможность получать многофункциональные наноконпозиты с комплексом ценных свойств.

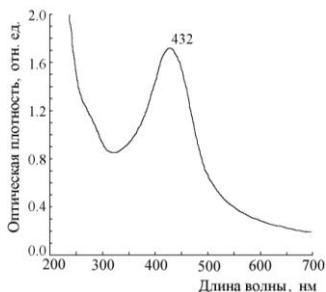
Для стабилизации наночастиц были синтезированы сополимеры 1-винил-1,2,4-триазола с кротоновым альдегидом, которые характеризуются хорошей растворимостью в воде и органических растворителях, а также термической стабильностью. На основе полученных сополимеров были синтезированы водорастворимые наноконпозиты путем восстановления нитрата серебра боргидридом натрия.

В электронных спектрах наноконпозитов появляются соответствующие полосы плазмонного поглощения с максимумами в области 420–435 нм, характерными для серебра в наноразмерном нульвалентном состоянии.

ИК спектры наноконпозитов идентичны ИК спектрам исходного сополимера, что указывает на неизменность структуры сополимера в процессе синтеза наноконпозита. По данным элементного и атомно-абсорбционного анализа содержание серебра в наноконпозитах составляет 4–8%.

Структура наноконпозитов подтверждена результатами рентгенографического анализа и просвечивающей электронной микроскопии.

Полученные наноконпозиционные материалы перспективны для разработки новых биосовместимых водорастворимых антисептиков и антимикробных компонентов полимерных материалов медицинского назначения, диагностических систем и наносенсорных устройств.



Научный руководитель – д-р хим. наук Г. Ф. Мячина.

ТРАНСПОРТНАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОНОВ С УЧЕТОМ НЕУПРУГИХ СТОЛКНОВЕНИЙ

В. С. Жалнина, В. А. Смоляр

Волгоградский государственный технический университет

Круг научных и практических задач, в которых сталкиваются с необходимостью описания прохождения быстрых заряженных частиц через вещество, чрезвычайно высок, однако, в каждой из них требуется информация об энергетическом, угловом и пространственном распределении проходящих в веществе частиц. Энергетический спектр частиц в той или иной точке пространства определяется решением соответствующего уравнения переноса. Процессы упругого рассеяния и неупругих столкновений частиц оказывают совместное влияние на энергетический спектр. Однако вычисление функции распределения с одновременным учетом упругого рассеяния и неупругих столкновений имеет очень сложный вид и до сих пор не найдено точного аналитического решения уравнения переноса. Метод Монте-Карло в этой ситуации характеризуется хорошей точностью вычислений, хотя при этом не дает аналитического описания процесса.

В работе рассмотрен случай, когда при вычислении энергетического спектра частиц можно полностью пренебречь процессами упругих столкновений, оставив справа в уравнении переноса только часть интеграла, описывающую процессы неупругих столкновений движущихся частиц с атомами среды. Аналитическое решение получено в приближении непрерывного замедления, т.е. в предположении об однозначном соответствии между пробегом и энергией электронов, когда в разложении интеграла по неупругим столкновениям можно оставить три первых члена. Вычисления выполнены с использованием стандартного решателя в среде Matlab.

Результаты моделирования методом Монте-Карло сравнивались с вычислениями плотности электронов с начальной энергией 20 кэВ через вещество рассеивателя (алюминий и германий). Сравнение показало качественное соответствие результатов, численное решение адекватно описывает процесс диффузии электронов в веществе.

Таким образом, предложенная в работе модель кинетического уравнения в диффузионном приближении дает адекватное описание транспорта электронов в веществе, что подтверждается методом Монте-Карло.

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

ПРОВЕРКА ЗАКОНА ОБРАТИМОСТИ МЕЖДУ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ И ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ОБЛУЧЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ ФТОРИДА ЛИТИЯ, ОБЛУЧЕННОГО ИОНАМИ АЗОТА И КСЕНОНА

Ж. Б. Жанузак, Ф. У. Абуова, И. Н. Нышанбаева

Междисциплинарный научно-исследовательский комплекс, г. Астана
Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана

Представлены результаты экспериментов по облучению кристаллов LiF на ускорителе ДЦ-60 (Астана, Казахстан). Центры окраски в кристаллах LiF облученных ионами 18 MeV N (Φ от 2.4×10^{11} до 10^{13} ионов/см², ионный ток 10-100nA) и ионами 195 MeV Xe (Φ от 0.57×10^{11} до 7.5×10^{11} ионов/см², ток 10-100nA) исследовались с использованием UV-VIS абсорбционной спектроскопии.

Создание дефектов в щелочных галоидах сильно зависит от энергетических потерь ионов (dE/dx), поглощенной энергии (флюенс), и температуры облучения [1]. Радиационные параметры ионов N и Xe рассчитаны с использованием программы SRIM [2]. Электронные потери энергии в 1000 раз больше чем ядерные и основным механизмом создания дефектов является экситонный. Используя абсорбционную спектроскопию, были определены число F центров в треке (n_F^s), средняя энергия (ΔE_F) создания F центров, а также среднее расстояние между ионными треками. Из зависимости $n_F = f(\Phi)$ вычислили радиус трека: для ионов N $r_F = 4,4$ нм и для ионов Xe - 17 нм. Анализ спектров поглощения в зависимости от ионного тока позволил проверить выполнение закона обратимости между интенсивностью и длительностью облучения. Установлено, что концентрация F центров (n_F) возрастает с изменением (φ) как $n_F \sim \varphi^{1/3}$. Зависимость $\varphi^{1/3}$ указывает на сильное взаимодействие первичных N центров с образованием агрегатных центров, которые приводят к уменьшению потерь от рекомбинации между F и N центрами.

1. K. Schwartz and et.al., Effect of electronic energy loss and irradiation temperature on color-center creation in LiF and NaCl crystals irradiated with swift heavy ions Phys.Rev. B 78, 024120 (2008).

2. SRIM-2006.02 J. F. Ziegler, M,D, Ziegler, and J. P. Biersak.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук, доцент
А. К. Даулетбекова, М. В. Здоровец.

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СПЛАВАХ Ti-Ta-Nb, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКОЙ

Т. В. Журавина, Д. С. Терентьев

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

Одним из наиболее перспективных методов нанесения покрытий является электронно-лучевая наплавка. В качестве наплавляемых материалов могут быть использованы карбиды, бориды, оксиды, нитриды и другие материалы. Достоинством данного метода является то, что наплавка покрытия производится вневакуумным способом, а сам процесс длится десятки секунд. Таким образом, в процессе наплавки возможно формирование особой кристаллической структуры, обеспечивающей высокую износостойкость, контактно-усталостную выносливость, коррозионную стойкость материалов.

В данной работе были исследованы образцы, полученные наплавлением смеси порошков Ti-Ta-Nb на титановую основу электронно-лучевым методом. На титановую пластину размером от 12 мм насыпалась смесь металлических порошков Ti + Ta + Nb в разных соотношениях. С целью исключения процесса окисления оплавляемых компонентов в состав порошковой металлической смеси вводится флюс в виде соединения CaF_2 и LiF. Оплавление осуществляли на ускорителе ЭЛВ-6 в Институте ядерной физики имени Г. И. Будкера Сибирского отделения РАН.

Для оценки качества наплавки на образцах были выполнены металлографические исследования, проведены измерения микротвердости.

Было установлено, что структура сплава зависит не только от процентного содержания компонентов, но и от режимов наплавки. Микроструктурные исследования показали, что при пониженном содержании тантала в наплавленном слое, наблюдается игольчатая структура. В том случае, когда содержание ниобия равно нулю, проявляется дендридная структура. В материалах с одинаковым содержанием тантала и ниобия, также наблюдается дендридное строение.

Оценка результатов микротвердости показывает, что твердость в наплавном слое в 2 раза выше, чем в основном металле.

Научные руководители – д-р техн. наук, проф. А. А. Батаев, канд. техн. наук М. Г. Голковский, проф. В. Г. Буров.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНИХ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ НАНОПОРОШКОВ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

К. В. Зобов

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

Многие свойства и параметры нанопорошков ещё не исследованы. Для создания физических и математических моделей нанодисперсных сред необходимо проведение разностороннего изучения особенностей их поведения в классических задачах физики. Многие свойства наночастиц обусловлены размерами частиц, что ставит вопрос об их измерении, как при применении, так и при производстве. Прямые измерения, например, с использованием микроскопии трудоемки и требуют значительного времени. Существуют методы косвенного измерения размеров, например, на основе адсорбционных эффектов или флуктуаций рассеяния в жидкой смеси, которые также требуют отдельного времени и подготовки. В процессе производства нанопорошков особую ценность может представлять экспресс-метод, позволяющий контролировать размер частиц непосредственно во время производства.

В данной работе рассматривается ряд методов косвенного измерения размеров частиц. Основное внимание уделялось измерениям с помощью рэлеевского рассеяния. Этот метод был применён для исследования водной суспензии порошка и для разреженного воздушного потока. Метод основан на измерении изменения интенсивности светового излучения, проходящего через образец, в зависимости от концентрации или расстояния прохождения. Полученные результаты сравнивались с результатами микроскопии и величинами, полученными в результате адсорбционных измерений и измерений на специализированном приборе Brookhaven 90Plus.

В результате работы был предложен метод определения размеров частиц в потоке воздуха. Впоследствии он может быть применён на промышленной установке по производству нанопорошков, основанной на методе испарения электронным пучком.

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

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

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук В. И. Лысенко.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЛИТИЕВЫХ ТИОНИЛ – ХЛОРИДНЫХ (Li-SOCl₂) ПЕРВИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

А. А. Зыков

ООО «Унискан»

Новосибирский государственный университет

Литиевые тионил-хлоридные (Li-SOCl₂) первичные химические источники тока обладают уникальной совокупностью температурных, ресурсных и массогабаритных характеристик. Это обуславливает их широкое применение для питания электронных модулей самого различного назначения. Однако существенным недостатком является отсутствие технологий оперативной диагностики состояния данных элементов. Основная проблема заключается в том, что на аноде литиевого тионил-хлоридного элемента формируется пассивирующая многослойная плёнка сложной структуры. Она имеет высокую ионную и очень низкую электронную проводимости. Разброс её сопротивления значительно увеличивается со временем хранения. Именно существование такой плёнки обеспечивает малый саморазряд элемента при высоких температурах. Однако её сопротивление оказывается включённым последовательно с внутренним сопротивлением элемента и маскирует его.

Предложено два метода определения остаточного ресурса литиевых тионил-хлоридных первичных элементов. Первый, импульсно-релаксационный метод основан на разрушении пассивирующей плёнки комбинированным воздействием, состоящим из серии импульсных подключений одной специальной нагрузки на фоне постоянно подключённой второй специальной нагрузки, с последующим применением импульсно-релаксационного принципа измерения. Второй, рентгенографический метод заключается в определении распределения контрастной компоненты активного вещества в зависимости от остаточного ресурса элемента.

Экспериментальные данные, полученные импульсно-релаксационным и рентгенографическим методами, позволяют создать приборы для определения остаточной емкости первичных химических источников тока на основе электрохимической системы литий тионил-хлорид (Li-SOCl₂).

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

МОЛЕКУЛЯРНО ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ АТОМОВ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ НА ПОДЛОЖКУ С ДЕФЕКТАМИ

А. М. Игошкин

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

В ряду самых важных проблем нанотехнологий стоит задача по формированию тонких 50–100 нм пленок на поверхности подложки. При этом требуется, чтобы кристаллическая структура пленки содержала как можно меньше дефектов и имела однородную структуру на поперечных размерах в десятки сантиметров. В настоящее время существуют несколько методов по нанесению пленок, но, ни один из них в полной мере не удовлетворяет вышеперечисленным 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 влияния дефектов на поверхности подложки на формирование нанопленок.

В данной работе рассматривается формирование нанослоя на поверхности медной подложки с дефектами путем моделирования осаждения меди из газообразной фазы. Исследовались нанослои, сформированные на четырех типах дефектов поверхности: углубление, выступ, ступенька и дислокация. Размеры всех типов дефектов варьировались в широких пределах. После осаждения ансамбля частиц из газовой фазы производился анализ полученных нанослоев как визуально, так и с помощью RDF-функции. В результате было исследовано то, как размер и род дефектов на поверхности подложки влияют на образование дефектов в сформированном слое.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент И. Ф. Головнев.

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ПАРАМЕТРЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ И В ОБЪЕМЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ $ZrO_2(MgO)$

Е. С. Калатур

Томский государственный университет

В работе исследованы фазовый состав, параметры кристаллической структуры керамики $ZrO_2(MgO)$ на поверхности и по мере удаления в объем образцов.

Керамика на основе ZrO_2 , частично стабилизированного оксидом магния, получена из нанокристаллических порошков твердых растворов составов: ZrO_2 - 3, 10 вес. % MgO . Структура керамики исследовалась на поверхности полученных образцов и по мере удаления от нее после тонкой полировки посредством алмазных паст. Толщина слоя, снимаемого при каждой итерации, составила 100 мкм.

Расчет соотношения кубической, тетрагональной и моноклинной модификаций ZrO_2 показал, что по мере углубления в объем образцов, так же как и на поверхности преобладающей является высокотемпературная кубическая модификация диоксида циркония, но по мере удаления от поверхности ее доля уменьшалась.

Анализ рентгеновских дифрактограмм, полученных с поверхности и по мере углубления в объем показал, что, помимо модификаций ZrO_2 в образцах при содержании стабилизирующей добавки 10 вес. % MgO , обнаружено присутствие дифракционных максимумов, принадлежащих оксиду магния. Данный факт свидетельствует о том, что происходит неполное растворение оксида магния в решетке диоксида циркония. Полученные данные согласуются с известной диаграммой состояния системы $MgO-ZrO_2$.

Оценка ОКР кубической фазы ZrO_2 в зависимости от углубления в объем показала, что во всех образцах размеры кристаллитов уменьшаются и это обусловлено увеличением доли моноклинной фазы, выделение которой дробит кристаллы кубической фазы. Однако, с увеличением количества стабилизирующей добавки средний размер ОКР возрастает.

Обнаружено, что увеличение количества стабилизирующей добавки в твердом растворе ZrO_2-MgO приводит к уменьшению параметра ячейки кубической формы, что связано с появлением примесных катионов в узлах кристаллической решетки ZrO_2 при образовании твердого раствора. Наблюдалось увеличение параметров кристаллических решеток кубической фазы ZrO_2 в образцах по мере углубления в объем, что обуславливается выходом оксида магния из кристаллической решетки ZrO_2 .

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. С. П. Буйкова.

ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ МОЛЕКУЛЫ АНТРАЦЕНА

М. Ю. Киямов

Кемеровский государственный университет

Антрацен относится к классу полициклических углеводородов, которые имеют широкое практическое применение, но данные о механизме формирования химической связи отсутствуют. Так как кристаллическая фаза антрацена является молекулярным кристаллом, то для определения основных свойств достаточно провести исследование свободной молекулы, которая имеет симметрию D_{2h} .

Все расчеты выполнены при помощи пакета CRYSTALL06 [1] в рамках теории функционала плотности (DFT) в комбинации обменного и корреляционного функционалов в приближении локальной плотности LDA, PZ и PWGGA. Для расчета использовались следующие базисные наборы: C_6-21G*_catti_1993 и H_5-11G*_dovesi_1984. После проведения полной структурной оптимизации кратчайшее расстояние между углеродом и водородом составило 1.0716 Å, что согласуется с результатами других авторов. На рис.1 представлено распределение полной и деформационной электронной плотности. Интервал между изолиниями равен 0.03 еА⁻³. Положительные значения деформационной плотности обозначены сплошными линиями, отрицательные — пунктирными, а нулевой контур выделен жирным. Из распределения деформационной плотности был определен механизм формирования химической связи.

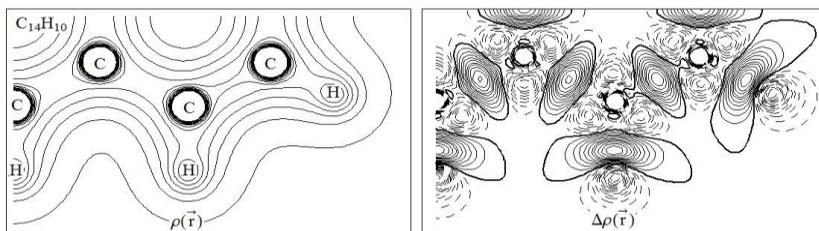


Рис. 1. Распределение полной (слева) и деформационной плотности (справа) в плоскости молекулы антрацена.

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.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ю. Н. Журавлев.

УПРУГИЕ СВОЙСТВА ГАЛОГЕНИДОВ СЕРЕБРА ИЗ ПЕРВЫХ ПРИНЦИПОВ

Д. А. Киямова

Кемеровский государственный университет

Упругие свойства твердых тел относятся к их фундаментальным характеристикам. Упругие постоянные для чистых металлов определены экспериментально в широком интервале температур. Гораздо меньше такой информации можно найти для диэлектрических кристаллов. Поэтому важны теоретические исследования упругих свойств кристаллов из первых принципов.

Так, экспериментальными методами были тщательно изучены галогениды щелочных металлов. Однако наибольший интерес вызывают галогениды серебра. В настоящей работе исследуются свойства AgCl из первых принципов в рамках RFT и DFT теорий.

Расчеты проведены при помощи методов пакета CRYSTALL06 в рамках теории функционала плотности в комбинации обменного и корреляционного функционалов в приближении локальной плотности LDA PZ, обобщенной градиентной аппроксимации PWGGA, PBE и гибридных в параметризации B3 с нелокальным PWGGA (B3PW, B3LYP), а также в рамках метода Хартри-Фока HF. Произведена полная структурная оптимизация кристалла и вычислены упругие свойства. Результаты расчетов приведены в таблице 1 в сравнении с экспериментальными данными $a_0 = 5,549 \text{ \AA}$

Таблица 1

Равновесная постоянная решетки a , полная энергия E_{tot} и эффективные заряды атомов Q_{Ag} , Q_{Cl} .

	Метод					
	LDA PZ	PBE	PWGGA	B3PW	B3LYP	HF
a , \AA	5.5000	5.7478	5.7284	5.7371	5.8196	6.0318
$(a_0 - a)/a$, %	-0.88	3.58	3.23	3.28	4.65	8.00
E_{tot} , а.у.	-160.4920	-160.7729	-160.8562	-160.8834	-160.7231	-159.7141
Q_{Cl} , $ e $	-0.6261	-0.6780	-0.6716	-0.7317	-0.7211	-0.9134
Q_{Ag} , $ e $	0.6261	0.6780	0.6716	0.7317	0.7211	0.9134

Локальное приближение для обменно-корреляционных потенциалов в DFT теории приводит к заниженным значениям постоянной решетки, тогда как градиентная аппроксимация и гибридные – к завышенным. Наибольшее же расхождение дает RFT теория. Величины зарядов характеризуют зарядовый перенос и отражают особенности химической связи.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ю. Н. Журавлев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ НАНОКЕРАМИКИ С НЕРЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРОЙ ПОРИСТОСТИ

М. В. Коробенков, А. Е. Широбоков, А. А. Козулин, Е. Г. Скрипняк
Томский государственный университет

В процессе ударного нагружения оксидной нанокерамики на основе Al_2O_3 , $ZrO_2-Y_2O_3$, MgO происходят существенные структурные изменения, приводящие к накоплению повреждений структуры и фрагментации материала. Известные экспериментальные исследования выявили существенные повреждения Al_2O_3 , $ZrO_2-Y_2O_3$ керамики даже под действием импульсных воздействий с амплитудами ниже предела упругости Гюгонио. Кинетика и закономерности формирования фрагментов керамических материалов в процессе динамического нагружения изучены недостаточно хорошо.

В работе методами компьютерного моделирования проведено исследование разрушения керамических материалов с нерегулярной структурой пористости при динамических нагрузках. Исследуемый объем представляет собой многосвязную пространственную область, в которой расположены полости пор, окруженные конденсированной фазой. Для описания механического поведения конденсированной фазы использован континуальный подход механики повреждаемых сред.

Результаты моделирования показали, что в ударно нагруженном материале вокруг пор формируется неоднородное поле напряжений, динамический предел упругости наноструктурной оксидной керамики зависит не только от интегральной пористости, но и от соотношения пор и размеров зерна. При одинаковой интегральной пористости, концентрация нанопор в области границ зерна вызывает снижение сдвиговой прочности оксидной керамики. Механическое поведение материала сопряжено со структурными превращениями в процессе нагружения. Анализ результатов моделирования показал, что при воздействии ударных волн на однофазную пористую керамику, происходит коллапс пор и фрагментация конденсированной фазы. В зоне разрушения происходит фрагментация керамики, сопровождающаяся сдвигом и разворотом блоков, разделенных полосами локализации деформации. Движение блоков происходит в нестационарном и неоднородном поле интенсивностей напряжений.

Наличие пор в структуре материала приводит не только к формированию неоднородных полей напряжений, но и вызывает осцилляции напряжений от времени. Аналогичный осциллирующий характер имеют зависимости локальных значений массовой скорости от времени.

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

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УПЛОТНЕНИЯ БЕТОНОВ

В. В. Кривошеенко, М. Р. Каюмов, А. Н. Трифонова, А. Б. Канн
Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

Исследования в области совершенствования технологии производства бетонов проводились в научной лаборатории Югорского государственного университета, город Ханты-Мансийск.

Серьезным недостатком в уплотнении бетонных смесей является то, что вопрос уплотнения рассматривается в комплексе, а именно уплотнение заполнителей и цементного теста. В нашем исследовании мы рассматриваем только уплотнение цементного теста в период его структурообразования, то есть в период коагуляции, когда продукты гидратации имеют размеры приближенные к наночастичкам.

Для этого были рассмотрены следующие технологические переделы уплотнения цементного теста:

1. Использование ультразвуковых волн разной частоты и амплитуды колебания.
2. Повторное виброуплотнение цементного теста в коагуляционный период.

В ходе гидратации цемента структура переходит от наноуровня на микроуровень, соответствующий размеру цементных частиц. Частички размером приближенным к наночастичкам позволяют в условиях различного рода вибрационных воздействий обеспечивать повышение эффективности технологических переделов в несколько раз. Мы предлагаем использовать обычные вибраторы, направленные на уплотнение заполнителей бетонной смеси, а ультразвуковые - на уплотнение молекулярной структуры цементного теста той же бетонной смеси. Первое виброуплотнение производим сразу после приготовления усадки в форму, а повторное проводим через каждые 15 минут для каждой серии образцов.

Контроль прочности произведен по результатам испытаний бетонных кубиков размером 2×2×2 см в 14-суточном возрасте по методике ГОСТа 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение».

Использование данных технологических приемов позволяет увеличить физико-механические показатели керамзитобетона на 20–25 %.

Научный руководитель - д-р техн. наук, проф. А. Ф. Косач.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ИОННОГО ТРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ 3D НАНОСТРУКТУР МЕТОДОМ ФОКУСИРОВАННОГО ИОННОГО ПУЧКА

А. А. Лизунова, Е. В. Емелин, А. А. Свинцов
Московский физико-технический институт

Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов

В настоящее время возникает потребность создания сложных 3D наноструктур все в более широких областях науки и техники. Для создания трехмерных наноструктур рассмотрен метод ионно-лучевого травления, достоинством которого является вытравливание структуры непосредственно в материале подложки. Однако основной проблемой создания трехмерных объектов является проявление эффектов анизотропного (нестационарного) травления, что приводит к сильным различиям между желаемой и экспонируемой структурой.

Используя представленные в докладе методы экспонирования [1], учитывающие зависимость коэффициента распыления атомов от угла падения пучка ионов на подложку, возможно реализовать режим стационарного травления.

Из серии экспериментов был выявлен критерий стационарного травления: отношение скорости травления V_z к скорости движения пучка V_x должно быть меньше единицы:

$$V_z / V_x < 1$$

Исходя из данного критерия, до начала травления сложной структуры можно подобрать параметры экспонирования, соответствующие стационарному режиму. В качестве примера работоспособности представленных методов были созданы сложные 3D наноструктуры с помощью фокусированного ионного пучка.

1. A. Svintsov, S. Zaitsev, G. Lalev, S. Dimov, V. Velkova, H. Hirshy, FIB sputtering optimization using Ion Reverse Software, Microelectronic Engineering, 86, 544 (2009).

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

МОДЕЛЬ ГРАНУЛИРОВАННОЙ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ

Д. А. Лысак

Кубанский государственный университет, г. Краснодар

Несмотря на широкое применение в различных практических приложениях плёночных магнитных нанокомпозитов потенциал их использования ещё полностью не раскрыт. Одна из причин – сложность механизмов межкластерных взаимодействий и взаимодействий кластера с матрицей. Информацию о магнитной структуре наноматериала можно получить из параметров ферромагнитного резонанса, которые, в частности, определяются равновесной ориентацией намагничённости. Известна модель [1] описания статических и магнитных свойств ферромагнитных плёночных нанокомпозитов. Однако она не всегда корректно описывает свойства реальных гранулированных нанокомпозитов при малых концентрация магнитной фазы в малых полях подмагничивания. Например, из этой модели следует, что при отсутствии внешнего магнитного поля намагничённость всегда направлена вдоль поверхности образца. В действительности, при малых параметрах объёмного заполнения образца гранулами не сферической формы направление намагничённости зависит от ориентации гранул.

Цель настоящей работы – разработка математической модели расчета плотности магнитной энергии в плёночных композиционных материалах с магнитными нановключениями, а также определение и анализ возможных равновесных ориентаций намагничённости в таких структурах.

Рассматривается тонкая гранулированная плёнка типа: немагнитная матрица – магнитные гранулы, намагничённая внешнем магнитным полем до насыщения. Предполагается, что применим принцип суперпозиции магнитных полей, а магнитная энергия образца складывается из Зеемановской энергии и энергии, размагничивающих полей, обусловленных появлением магнитных зарядов на поверхностях образца и гранул. В отличие от [1] учитывается появление магнитных зарядов на поверхности каждой гранулы, вызванное не только ее собственной намагничённостью, но и действием ее окружения (средней намагничённостью образца).

Получено выражение для плотности магнитной энергии гранулированных магнитных нанокомпозитов; рассчитаны положения устойчивого равновесия намагничённости; показана и исследована возможность одновременной реализации нескольких метастабильных ориентаций намагничённости.

1. Dubovik, J. Shape anisotropy of magnetic heterostructures // Physical Review B. 1996. **54**. P. 1088-1091.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И ТВЕРДОСТИ ПРИ НАГРЕВЕ УГЛЕРОДИСТЫХ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛЕЙ МАРОК 20 И 45, СТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕТОДОМ РКУП

Д. А. Михоленко, М. Д. Михоленко
Магнитогорский государственный технический университет
им. Г. И. Носова

В настоящее время наблюдается настоящий «бум» в исследовании структуры и свойств ультрамелкозернистых материалов, полученных интенсивной пластической деформацией (ИПД). Интерес к ним оправдан высокими, часто необычными механическими свойствами – сочетанием высокой прочности с высокой пластичностью. Наиболее эффективной схемой деформации является равноканальное угловое прессование (РКУП), основанное на деформации простым сдвигом при постоянстве начальных и конечных сечений.

Важнейшее значение для практики имеет стабильность структуры и свойств стали при последующем нагреве. В литературе практически отсутствуют сведения о поведении углеродистых сталей с ультрамелкозернистой феррито-перлитной структурой, полученной при РКУП и последующем нагреве. В связи с этим и была выбрана цель работы, как исследование термостабильности при нагреве конструкционных сталей 20 и 45, структурированных методом РКУП.

Прутки диаметром 20 мм и длиной 120 мм продавливался при 400 °С через оснастку с каналами, пересекающимися под углом 120 °, в 4 прохода с поворотом вокруг продольной оси на угол 90 °.

После РКУП образцы подвергались нагреву при 200 °, 300 °, 400 °, 500 °, 600 °, 700 °С с выдержками 5 минут и 1 час.

Структура стали 20 и 45, сформированная методом РКУП сохраняет ультрамелкозернистой строение феррита и твердость 2500 МПа при нагреве до 400–500 °С. При дальнейшем повышении температуры нагрева происходит снижение твердости вследствие процесса рекристаллизации и роста зерна феррита.

Работа выполнена в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)», регистр. номер 2.1./2014., а также федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., государственный контракт П983.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Н. В. Копцева.

ОСТОВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ НА АТОМАХ В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКЕ

Нгуен Чыонг Тхань Хиеу

Волгоградский государственный технический университет

В настоящее время проводятся интенсивные исследования, направленные на создание теории переноса электронов в области малых и средних энергий (от единиц эВ до сотен эВ), что необходимо для понимания физических процессов в современных электронно-эмиссионных методах диагностики поверхности – Оже-спектроскопии, рентгеноэлектронной спектроскопии и других. Построение физических теорий этих методов из первых принципов невозможно без адекватного описания взаимодействий электронов с атомами в кристаллической решетке, в том числе упругое рассеяние является одной из самых важных задач. Точные знание об упругом рассеянии необходимы для моделирования поведения микрочастиц внутри твердых мишеней.

В данной работе предложен способ определения остовного потенциала атома в кристаллической решетке и подходы к вычислению фазовых сдвигов рассеянных сферических волн, который исходит из решения уравнений Дирака для электрона в сферически симметричном скалярном потенциальном поле.

Сравнение вычислительных результатов с экспериментальными данными поляризации электронного пучка при упругом рассеянии на золоте [1], а также с измерениями дифференциального сечения упругого рассеяния электронов [2], показало хорошее согласие результатов. Сравнения рассеяний на отдельном атоме и на атоме в кристаллической решетке показывают, что при вычислении упругого рассеяния электронов в конденсированном веществе в области малых энергиях должно учитывать его кристаллическую структуру.

1. Bunyan, P. J. Polarization by mercury of 100 to 2000 eV electrons / P. J. Bunyan, J. L. Schonfelder // Proc. Phys. Soc. – 1965. – V. 85 – P. 455 – 462.

2. Dapor, M. Elastic scattering calculations for electrons and positrons in solid targets / M. Dapor // J. Appl. Phys. – 1996. – V. 79, № 11. – P. 1 – 6.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ЭПР ИОНОВ Cr^{3+} И Fe^{3+} В СТРУКТУРЕ КРИСТАЛЛОВ ДВОЙНОГО ЛИТИЙ-ЦИНКОВОГО МОЛИБДАТА

Н. А. Небогатикова

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

В Институте неорганической химии СО РАН низкоградиентным низкоконтрационным методом Чохральского были выращены кристаллы литий-цинкового молибдата $\text{Li}_2\text{Zn}_2(\text{MoO}_4)_3$. Для беспримесных кристаллов при комнатной температуре наблюдается люминесценция с длиной волны $\lambda = 388$ нм. Спад люминесценции по времени описывается двухэкспоненциальной зависимостью с характерными временами 2 и 6 нс.

При активировании кристаллов ионами переходных металлов спектры люминесценции смещаются в длинноволновую зону. Характерное время спада люминесценции активированных кристаллов 100 нс. Для изучения состояния ионов переходных металлов использовался метод ЭПР-спектроскопии. Анализ ЭПР-спектров кристаллов позволяет изучить спиновое состояние примесных ионов, установить их местоположение в структуре соединения, определить симметрию их ближайшего окружения.

Методом рентгеноструктурного анализа (РСА) была получена структура изучаемого соединения. ЭПР-спектры кристаллов, активированных ионами переходных металлов, записывались на автоматизированном спектрометре при комнатной температуре на частотах 9,5 и 35 ГГц. В качестве эталона g-фактора использовался дифенилпикрилгидразил. Ориентирование кристаллов относительно направления магнитного поля проводилось на основании данных РСА.

ЭПР-спектры ионов Cr^{3+} в кристаллах $\text{Li}_2\text{Zn}_2(\text{MoO}_4)_3$ соответствуют случаю Cr^{3+} в сильном кристаллическом поле ионов. Результаты анализа угловой зависимости ЭПР-спектров позволили определить спиновое состояние ионов Cr^{3+} , g-фактор ионов и их структурное положение.

В результате анализа ЭПР-спектров ионов Fe^{3+} в кристаллах $\text{Li}_2\text{Zn}_2(\text{MoO}_4)_3$ было показано, что ионы железа находятся в двух магнитно неэквивалентных положениях. На частоте 9,5 ГГц в ЭПР-спектрах Fe^{3+} наблюдаются только запрещенные переходы. Линии спектров находятся в области половинных полей, положение линий описывается эффективным g-фактором $g = 4,3$. Наблюдаемые спектры соответствуют случаю сильного кристаллического поля. В настоящее время ведутся эксперименты по уточнению положения примесных ионов в структуре и параметров кристаллического поля.

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

IN SITU ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК TiN, ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПУЧКОМ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 350 КЭВ

М. А. Неклюдова

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

Интерес к исследованию пленок TiN обусловлен тем, что наряду с такими свойствами, как высокая твердость, износостойкость [1], в этих пленках обнаружен переход из сверхпроводящего состояния в сверхдиэлектрическое. Этот переход сильно зависит от толщины пленки, так что при переходе через критическое значение толщины в сторону ее увеличения эти пленки проявляют металлические свойства и становятся сверхпроводниками при понижении температуры. При толщине меньше критической, эти пленки являются обычными изоляторами с высоким сопротивлением, а при понижении температуры до 0,04 К сопротивление увеличивается в сотни тысяч раз, и они становятся сверхдиэлектриками [2]. Данные пленки были получены методом послойного атомного осаждения (ALD) на подложки Si, покрытые аморфным слоем SiO₂ толщиной 10 нм. Низкотемпературным электрофизическим измерениям предшествовала кратковременная обработка поверхности TiN в плазме. Однако структура данных пленок и их стабильность относительно радиационных воздействий не исследовались. Поэтому целью данной работы являлось исследование атомной структуры и стабильности поликристаллических пленок TiN в диапазоне толщин 5–23 нм при *in situ* облучении пучком электронов при комнатной температуре в колонне просвечивающего электронного микроскопа JEM-4000EX с ускоряющим напряжением 350 кВ.

Исследования показали, что по мере увеличения времени облучения пленок TiN с толщиной 5–23 нм их структура становится более сложной; кристаллиты изменяют свою форму и размеры. Структурные трансформации сопровождаются наложением кристаллитов друг на друга, в результате чего возникает муар. Конечный размер кристаллитов варьируется в диапазоне от 2–15 нм, однако их средний размер увеличивается от 4 до 6 нм после облучения в течение 30 минут.

1. В. В. Васильев. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение, вып.93, с. 173-180, (2009).

2. V. M. Vinokur, T. I. Baturina, M. V. Fistul, A. Yu. Mironov, M. R. Baklanov, C. Strunk, Nature 452, pp. 613-616, (2008).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. К. Гутаковский.

ПОВЕДЕНИЕ КАРБИДНОЙ ФАЗЫ ПРИ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИИ И ПОСЛЕДУЮЩЕМ ВОЛОЧЕНИИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

О. А. Никитенко, Ю. Ю. Ефимова

Магнитогорский государственный технический университет
им. Г. И. Носова

В сплавах, подвергнутых интенсивным деформациям, конечная нанокристаллическая (НК) или ультрамелкозернистая (УМЗ) структура определяется не только условиями обработки, но и исходной микроструктурой, а также фазовым составом. При наличии в исходной структуре сплава частиц вторых фаз, более прочных, чем матрица, при интенсивной пластической деформации (ИПД) могут происходить их дробление, а также растворение, вследствие механического легирования приводящее к образованию пересыщенного твердого раствора. Наименее изучен данный процесс в феррито-перлитных сталях с небольшим содержанием углерода, где для его протекания требуются большие деформации.

В работе исследовано поведение цементитной фазы в стали 20, подвергнутой наноструктурированию методом равноканального углового прессования (РКУП) и последующему волочению.

Выявлено, что при наноструктурировании методом РКУП горячекатаной стали 20 в перлите происходит уменьшение толщины ферритных промежутков до размеров, соизмеримых с толщиной цементитных пластин. Карбидная фаза в наноструктурированной предварительно улучшенной стали 20 представляет собой дисперсные, преимущественно округлые частицы, неравномерно распределенные в ферритной матрице. При последующем волочении наноструктурированной предварительно улучшенной стали происходит частичное растворение карбидов с переходом атомов углерода в дефекты кристаллического строения феррита, размеры карбидных частиц уменьшаются до наноразмеров.

Работа выполнена в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)», регистр. номер 2.1./2014., а также федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., государственный контракт П983.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Н. В. Копцева.

ГИБРИДНЫЕ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ФУЛЛЕРЕНА $Gd@C_{82}$: СТАБИЛЬНОСТЬ И ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

В. А. Пересунько

Амурский государственный университет, г. Благовещенск
Институт проблем химической физики РАН

Создание эффективных биоматериалов на основе гибридных структур – одна из актуальнейших проблем развития наноиндустрии в мире. В связи с этим огромный интерес представляют наноуглеродные структуры, в том числе фуллерены.

В качестве объекта исследований был выбран эндометаллофуллерен $Gd@C_{82}$ -eosine-Pro, внутри ядра которого находится ион гадолиния, а с внешней стороны присоединены водорастворимая аминокислота пролин и люминесцирующий краситель эозин. Ядро фуллерена обладает высокой стабильностью, поэтому токсическое действие гадолиния при введении в биологические среды минимально [1]. А эфирная связь с эозином может быть относительно нестабильной и разрываться в результате гидролиза при высокой температуре, изменении pH и т.п. Исследование стабильности подобных структур крайне важно, так как свойства распавшихся веществ могут сильно отличаться от исходных.

Данная гибридная структура может иметь большой потенциал для применения в медицине в качестве фотосенсибилизатора. Действие подобного класса веществ состоит в избирательном накоплении и генерации в опухолевых или других тканях синглетного кислорода или активных радикальных частиц под действием лазерного излучения, что оказывает токсическое действие на опухолевые ткани [2].

В ходе экспериментов было обнаружено, что при длительном воздействии высокой температуры (95 °C) происходит незначительное разрушение эфирной связи. При ультразвуковой обработке не обнаружено уменьшения стабильности структуры.

Кроме того, фотофизические свойства данной структуры оказались схожи с природными реакционными центрами – белковыми комплексами, осуществляющими направленный трансмембранный перенос зарядов в процессе фотосинтеза. Это свидетельствует о возможности использования подобных структур в устройствах запасаения и преобразования энергии.

1. Bolskar R. D. et al., J. Am. Chem. Soc., 125, 5471 (2003).

2. Котельников А.И. и др., Альманах клинич. медицины, 17, 340 (2008).

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук, доцент А. Ю. Сетейкин, д-р физ.-мат. наук, проф. А. И. Котельников.

ПОВЕРХНОСТНАЯ ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЁВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ВЫСОКОПРОЧНЫМ ИНДЕНТОРОМ

Ю. Н. Ромашова, И. А. Батаев

Новосибирский государственный технический университет

Одним из методов поверхностной пластической деформации является обработка высокопрочным индентором, колеблющимся с ультразвуковой частотой. В данной работе определяли глубину пластически деформированного слоя и изучали особенности градиентной структуры, формирующейся в процессе обработки.

В качестве объекта исследования использовалось два модельных материала, обладающих характерными особенностями, проявляющимися в ходе деформации. Так, глубина упрочнённого слоя исследовалась на стали Гадфильда (110Г13Л), характерной особенностью которой является появление полос скольжения на полированной поверхности. Для изучения особенностей градиентной структуры, формируемой в процессе поверхностной пластической деформации, проводился отжиг обработанных образцов технического железа. Поверхностное упрочнение осуществляли твердосплавным индентором с диаметром сферы 8 мм. Статическая нагрузка на индентор составляла 10 кг. Частота колебаний индентора была равной 22 кГц. Зона обработки для стали Гадфильда имела форму прямолинейной дорожки. Количество проходов индентора вдоль дорожки изменялось от 1 до 300. Исследовались зоны, прилегающие к краям дорожек на предварительно отполированных поверхностях образцов, и поверхности химически протравленных поперечных металлографических шлифов.

Зона обработки для технического железа представляла собой форму прямоугольника. Термическая обработка образцов заключалась в их отжиге без фазовой перекристаллизации. Диапазон температур отжига составлял 520...700 °С, длительность термообработки – 1 час.

Анализ результатов исследования свидетельствует о том, что измерение микротвёрдости деформированной стали не позволяет надёжно зафиксировать глубину упрочнённого слоя. Анализ линий скольжения, образующихся на стали Гадфильда, является более точным методом определения глубины деформированного слоя. Отжиг технического железа в диапазоне температур 500–700 °С позволяет более точно зафиксировать глубину пластически деформированного слоя.

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

ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯТОРОВ НА СТРУКТУРУ И КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКОЙ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Т. И. Савенко, Е. Д. Головин, Н. В. Шелудько
Новосибирский государственный технический университет

Сварные конструкции широко используются в самых различных областях человеческой деятельности. Значительную их часть составляют конструкции из углеродистых сталей. Получение сварных швов, не уступающих основному металлу по уровню механических свойств, является актуальной научной задачей.

Технология лазерной сварки позволяет получать сварные соединения, обладающие более высокими механическими свойствами. Тем не менее, как традиционные виды сварки плавлением, так и лазерная сварка неизбежно приводят к образованию в сварном шве дефектной литой структуры.

Одним из активно разрабатываемых в технологии сварки направлений в настоящее время является применение мелкодисперсных порошковых добавок, влияющих на кристаллизацию сварного шва. В данной работе исследовалось влияние нанодисперсного порошка TiCN+Cu на качество сварных соединений из листовой стали 20, полученных методом лазерной сварки. Сварка производилась на автоматическом лазерном технологическом комплексе «Сибирь-2» производства Института теоретической и прикладной механики СО РАН. Толщина свариваемых пластин составляла 3 мм. Порошок TiCN+Cu наносился предварительно на кромки свариваемых пластин. Сварка осуществлялась в атмосфере гелия. Заготовки соединялись встык.

Для оценки качества сварных соединений были выполнены металлографические и фрактографические исследования полученных образцов, проведены измерения микротвердости шва и прилегающей зоны термического влияния (далее ЗТВ), осуществлены испытания на статическое растяжение и трехточечный ударный изгиб с V-образным концентратором, нанесенным по сварному шву.

По результатам исследований можно сделать вывод о том, что добавка инокулятора типа TiCN+Cu благоприятно отражается на однородности структуры сварного шва. В то же время, необходимо решить проблемы по устранению пористости, вызванной использованием указанного выше нанопорошка.

Научный руководитель - д-р техн. наук, проф. А. А. Батаев.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СТЕПЕНИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СШИВКИ ПОЛИМЕРОВ

Р. Савченко, В. Н. Максимов

Красноярский государственный педагогический университет

Наиболее востребованной радиационно-химической технологией, предполагаемой к использованию на создаваемом в г. Железногорске Радиационно-технологическом комплексе является радиационно-химическая молекулярная сшивка полимеров измерение степени которой является обязательным фрагментом данной технологии.

Перспективным направлением применения муфт термоусаживаемых герметизирующих (МТГ), выпускаемых по вышеуказанной технологии, является [2] их «энергосберегающее» использование при строительстве газонефтепроводов и при прокладке трубопроводов теплотрасс ЖКХ [1]. Теплоизоляция стыков предизолированных трубопроводов осуществляется путем заливки вспенивающихся компонентов в пространство между трубой и МТГ через специальное отверстие в муфте. МТГ из сшитого электронно-лучевым методом полиэтилена длиной 500-700 мм имеет свойство «памяти» формы и принимает первоначальное состояние по диаметру при нагреве, например, газовой горелкой.

Впервые в условиях научной университетской лаборатории КГПУ созданы действующие опытно-промышленные установки по измерению объемного распределения степени сшивки, выполнены серии измерений проб облученных МТГ, получены новые полезные для производства результаты, даны конкретные рекомендации по выбору марки полимера при производстве МТГ.

1. Научно-технический уровень производства. Модернизация технологического процесса. Внедрение прогрессивных технологий, «Водоканал».

2. Анализ путей адаптации радиационных технологий для их реализации на базе РТЦ ГХК, отчет по х/д 0-105/2001, Томский политехнический университет, 2003.

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

О СПРАВЕДЛИВОСТИ ТЕОРИИ МЮЛЛЕРА-СМОЛУХОВСКОГО И РОЛИ ЭЛЕКТРОННОГО ТУННЕЛЬНОГО ЭФФЕКТА В КОАГУЛЯЦИИ НАНОКОЛЛОИДОВ МЕТАЛЛОВ

П. Н. Сёмина

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

В 1916 г. Смолуховский предложил количественную трактовку кинетики коагуляции малых коллоидных частиц монодисперсных золей на основе анализа их броуновского движения. Развита позже теория полидисперсной коагуляции Мюллера предсказывает ускоренную коагуляцию полидисперсных золей в сравнении с монодисперсными коллоидными системами. Причем в ряде экспериментов с органомолибденами металлов обнаруживаются признаки справедливости этого утверждения.

Целью настоящего исследования является проверка кинетической теории Мюллера-Смолуховского методом броуновской динамики и объяснение физических процессов, приводящих к ускорению коагуляции полидисперсных коллоидов металлов. В нашей работе с помощью метода броуновской динамики были проанализированы процессы сравнительной коагуляции монодисперсных и полидисперсных нанокolloидов Ag. Была показана независимость кинетики коагуляции от степени полидисперсности золя, что противоречит классическим представлениям и позволяет предположить о влиянии на коагуляцию полидисперсных золей металлов неучтенного в модели физического процесса. На наш взгляд, таким процессом является электронный туннельный эффект (ЭТЭ), проявляющийся между частицами разного размера. Ускорение коагуляции в случае полидисперсного золя может быть объяснено возникновением дополнительного к ван-дер-ваальсову электростатического притяжения разноразмерных наночастиц, что является следствием взаимного разнополярного заряжения в процессе асимметричного туннелирования электронов. В свою очередь такая асимметрия электронных потоков между частицами полидисперсного золя обусловлена квантово-размерными эффектами – зависимостью работы выхода и энергии Ферми наночастиц от их размера. В частности, в исследуемом нами бимодальном Ag золе (радиусы наночастиц 3 и 7 нм) наблюдается ускорение коагуляции на 30% по сравнению со спонтанным процессом в отсутствие ЭТЭ с тенденцией к дальнейшему ускорению с увеличением степени полидисперсности. Таким образом, теория коагуляции полидисперсных золей металлов Мюллера получает принципиально иную трактовку, не имеющую отношения к исходной идее.

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

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НИТРИДОВ СЕРЕБРА

И. В. Старикова

Кемеровский государственный университет

Нитриды металлов представляют интерес, прежде всего с технологической точки зрения. Их физические свойства интенсивно изучаются как экспериментальными, так и теоретическими методами. К настоящему времени исследованы AgN_2 в структуре флюорита и AgN в структурах цинковой обманки, каменной соли, хлорида цезия. Определены структурные и упругие параметры и рассчитаны зонные структуры этих кристаллов.

Перечисленные кристаллы не ограничивают все возможные нитриды серебра. Возможны формы Ag_2N и Ag_3N в структуре антифлюорита и антирутила. В настоящей работе исследуются кристаллические структуры всех возможных форм нитридов серебра в рамках DFT теории.

Расчеты проведены при помощи методов пакета CRYSTALL06 [1] в рамках теории функционала плотности в комбинации обменного и корреляционного функционалов в приближении локальной плотности LDA, PZ и обобщенной градиентной аппроксимации PWGGA. Базисные наборы выбирались из предложенных в [2]. Проведена полная структурная оптимизация кристаллов, вычислены их упругие постоянные. Результаты LDA и PWGGA-расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Равновесная геометрия кристаллической решетки и упругие постоянные

Соединение	Метод	a, Å	C_{11} , ГПа	C_{12} , ГПа	C_{44} , ГПа
Ag_2N	LDA PZ	5.5233	284.2	51.3	328.1
	PWGGA	5.6823	253.6	116.3	47.7
Ag_3N	LDA PZ	4.1686	196.2	45.4	-0.9
	PWGGA	4.2918	166.4	47.4	5.35

Видно, что эти кристаллы обладают механической стабильностью и следовательно могут быть синтезированы. Расчет зонной структуры этих соединений показывает, что Ag_2N является металлом с низкой плотностью состояний на уровне Ферми, а Ag_3N – полупроводником с шириной запрещенной зоны 0.25 эВ.

1. Dovesi R., Saunders V. R., Roetti C. CRYSTAL 06 User's Manual. Torino: University of Torino, 2006.
2. www.crystal.initio.it/Basic_Set/ptable.html.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ю. Н. Журавлев.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРЫ ПОРИСТЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

И. В. Тарманова, А. М. Шитова

Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Эффективные микро и наноструктурированные пористые материалы представляют значительный интерес для применения в различных отраслях промышленности. В частности в строительстве они могут быть использованы в качестве высокоэффективных теплоизоляционных материалов, обладающих высоким термическим сопротивлением; в водоснабжении – для очистки воды за счет высокой пористости.

В соответствии с этим нами разработаны технологии изготовления пористого гранулированного материала и пенокерамических изделий на основе модифицированной жидкостекольной композиции с различными наполнителями.

Данные материалы обладают водостойкостью, долговечностью и высокой пористостью, в том числе нанопористостью.

В исследованиях были использованы пористые материалы и пенокерамические изделия с использованием глиносодержащих и углеродсодержащих наполнителей.

Нанопористость данных материалов была исследована методом малоуглового рассеяния нейтронов на дифрактометре «Мембрана-2» в Петербургском институте ядерной физики им. Б.С.П. Константинова РАН [1]. Данный метод позволяет исследовать свойства материалов на надатомном уровне, в том числе в условиях взаимодействия поверхности и объема материала с молекулярной водой.

Длина волны нейтронов $\lambda = 0,3$ нм при ширине линии $\Delta\lambda/\lambda = 0,3$. Рассеянные на образце нейтроны регистрировались 41-канальным детектором в интервале углов $\theta = \pm 2^\circ$.

Результаты нейтронных исследований разработанных теплоизоляционных материалов (пористых заполнителей и пенокерамика) показали наличие в них рассеивающих пустот с характерными радиусами $r \sim 50\text{--}200$ нм, причем границы этих образований не являются гладкими, а представляют собой дефектные поверхности с фрактальной размерностью $D_s = 6 - D \sim 2,4\text{--}2,8$.

1. М. Agamalyan, G.M. Drabkin, D.I. Svergun, A.L. Feigin, The small-angle neutron diffractometer “Membrana-2”, Preprint LNPI – 1599, St. Petersburg, 1990.

Научные руководители – канд. техн. наук, доцент С. А. Мизюряев, канд. физ.-мат. наук А. М. Гурьянов.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГАЛЛАТА ЛАНТАНА

С. В. Ти, Ю. Г. Матейшина

Новосибирский государственный университет
Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

Твердые растворы на основе галлата лантана LaGaO_3 являются суперионными проводниками и обладают высокой кислородной проводимостью в области температур выше 600°C . Недопированный галлат лантана имеет структуру ромбического перовскита ABO_3 при комнатной температуре и претерпевает фазовый переход при нагревании. Допирование LaGaO_3 в А- и В-подрешетках приводит к изменению структуры, фазового состава и ионной проводимости твердых растворов $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{Ga}_{1-y}\text{M}_2\text{O}_{3-d}$. Ранее было показано [1], что фазовый состав зависит не только от концентрации допантов М1 и М2, но и от условий синтеза этих оксидных систем. Целью настоящей работы является исследование влияния катионного замещения в А и В подрешетках на структуру и фазовый состав систем $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{Ga}_{1-y}\text{M}_2\text{O}_{3-d}$ ($\text{M}_1 = \text{V}_{\text{La}}, \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$; $\text{M}_2 = \text{Mg}, \text{Zn}, \text{Fe}$).

Исследуемые твердые растворы были синтезированы несколькими методами: обычным керамическим способом, с помощью интенсивной механической активации в шаровой мельнице АГО-2, цитратным методом золь-гель и с использованием метода самовоспламенения. Химический состав синтезированных систем определялся методами элементного анализа. Структура и фазовый состав определялись методом полнопрофильного рентгенофазового анализа в диапазоне температур $25\text{--}950^\circ\text{C}$ на дифрактометре Bruker D8 Advance. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии определены температуры фазового перехода. Проведена оценка размеров кристаллитов по уширению пиков рентгеновской дифракции. Форма и размер частиц исследованы независимым методом с помощью сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии.

1. S.V Ti, Yu.G. Mateyshina, N.F. Uvarov / Cation-deficient and cation-doped lanthanum gallate-based solid solution $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{Ga}_{1-y}\text{M}_2\text{O}_{3-d}$ ($\text{M} = \text{V}_{\text{La}}, \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$) prepared by different techniques //III International Conference “Fundamental Bases of Mechanochemical Technologies”, Novosibirsk, 2009

Научный руководитель – д-р хим. наук Н. Ф. Уваров.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ СРЕД

А. О. Товпинец, Е. В. Жуков

Томский государственный университет

Российский государственный университет им. И. Канта, г. Калининград

В качестве объекта исследования рассматривается порошковая система Zr-B. Моделируется поведение порошкового смесового компакта, в котором реагирующие компоненты прошли предварительную механическую активацию. Исследуются физико-химические механизмы взаимодействия в порошковой смеси реагирующих компонентов и инертного наполнителя (продукта химических превращений) при динамическом нагружении порошковой среды.

Многоуровневая физическая модель реагирующей порошковой смеси, описывающая физико-химические процессы ударного синтеза на микро и макро уровнях, учитывает параметры исходной структуры, пористости, начальной температуры, возможность фазовых переходов всех компонентов реагирующей среды, образования жидкой и газовой фаз реагирующих компонентов, изменения их реакционной способности в процессе механического нагружения, и другие факторы [1].

Разработан алгоритм решения задачи моделирования динамически нагруженных порошковых сред на многопроцессорных вычислительных системах, который позволяет сократить время проведения вычислительных экспериментов и предоставляет возможность автоматизированной первичной обработки полученных результатов. Алгоритм может быть легко модифицирован для схожих задач, относящихся к классу распределенных вычислений.

Знание физико-химических механизмов взаимодействия реагирующих порошковых компонентов в процессе синтеза тугоплавких соединений позволит исследовать закономерности динамического деформирования реагирующих порошковых материалов в связи со структурой и разработать технологические режимы ударного синтеза конструкционных материалов и покрытий, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 08-01-00615 и 10-01-00016, Интеграционного проекта СО РАН № 103.

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.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПЭВП, ОБРАБОТАННЫХ МЕТОДОМ РАВНОКАНАЛЬНОЙ МНОГОУГЛОВОЙ ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭКСТРУЗИИ

М. С. Толстых, Ю. А. Кобцева, С. А. Иванов, В. П. Таров
НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г. Тамбов

В настоящее время в ряде отраслей промышленности перспективным является применение полимерных композиционных материалов, так как они зачастую обладают необходимыми эксплуатационными свойствами. Создание новых композиционных полимеров и разработка методов их обработки занимает важное место в современном материаловедении и технологии новых материалов.

Анализ влияния различных методов твердофазной экструзии (ТЭ) на эксплуатационные свойства полимерных композиционных материалов проводятся на базе НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии». Одним из приоритетных направлений данной работы является проектирование оборудования для реализации равноканальной многоугловой твердофазной экструзии (РКМУТЭ) полимеров и анализ свойств получаемых данным методом материалов.

Данная работа посвящена исследованию теплофизических свойств полимеров и композитов на их основе с использованием модернизированного прибора DSC-2 производства фирмы «Perkin-Elmer», работающего по методу дифференциальной сканирующей калориметрии.

Объектом исследования в данной работе являлся полиэтилен высокой плотности (ПЭВП). Модифицирующей добавкой служил углеродный наноматериал (УНМ) «Таунит» в виде наномасштабных нитевидных образований поликристаллического графита. Производитель УНМ «Таунит» – ООО «НаноТехЦентр», г. Тамбов.

В работе проведен сравнительный анализ теплофизических свойств образцов исходного ПЭВП, нанокompозитов на его основе, а также образцов того же химического состава, но подвергнутых одному и нескольким циклам РКМУТЭ. Показана эффективность данного метода. Представлены термограммы исследуемых материалов, полученные в цикле нагревания. Определены оптимальные концентрации модификатора, а также наиболее эффективные в плане улучшения теплофизических свойств варианты обработки образцов методом РКМУТЭ.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. Г. С. Баронин.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСАЖДЕНИЯ МИКРОЧАСТИЦ ПРИ ТЕЧЕНИИ СУСПЕНЗИИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

Н. М. Тропин, А. С. Буткеев
Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН
Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
Новосибирский государственный университет

Работа посвящена вопросам моделирования течения жидкостей, содержащих взвешенные в ней твердые частицы, сквозь пористые среды. Присутствие таких частиц приводит к забиванию порового пространства, снижению проницаемости пористого слоя. Целями данной работы было экспериментальное исследование течения через засыпку шаров суспензии микрочастиц с размерами меньше размеров поровых каналов, обобщение модели кольтматации, предложенной в [1,2], для учета течения при заданном зависящем от времени перепаде давления, получение эмпирических параметров модели и сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными.

В работе рассмотрен случай одномерного течения. Под действием перепада давления в насыщенный пористый образец начинает проникать суспензия, изменяя фильтрационные характеристики образца (пористость, проницаемость). Основные уравнения модели – закон баланса твердой и жидкой фаз, уравнение кинетики кольтматации и закон Дарси. После нахождения связи между заданным перепадом давления и неизвестной скоростью фильтрации, полученная система квазилинейных уравнений вместе с начальными условиями, и условиями на границе между находившейся в образце жидкостью и закачиваемой суспензией образует смешанную задачу. Для решения задачи используется метод характеристик, развит алгоритм численного построения решения. Написана программа на языке FORTRAN, реализующая численный алгоритм. Получены экспериментальные данные по динамике снижения проницаемости засыпки в двух сечениях по длине и динамики снижения расхода при кольтматации. Проведено сравнение с экспериментами, анализ поведения эмпирических параметров модели.

1. Капранов, Ю. И. О фильтрации взвеси твердых частиц / Ю.И. Капранов // Прикл. матем. и механ. — 1999. — Т. 63, № 4. — С. 620-628.

2. Herzig, J.P., Leclerc, D.M., Le Goff, P. Flow of Suspensions through Porous Media — Application to deep filtration // Industrial and engineering chemistry — 1970 - v. 61 - no. 5 - p. 8-35.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук Ю. И. Капранов, д-р физ.-мат. наук В. В. Кузнецов.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И УСТОЙЧИВОСТИ КЛАСТЕРОВ ОКСИДА ЦИНКА В РАМКАХ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ (DFT)

Е. В. Трушин

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Наноструктурный оксид цинка имеет широкие перспективы использования в современных технологиях [1]. Несмотря на большое количество методов синтеза наноструктур оксида цинка, достоверные экспериментальные данные об атомарной структуре кластеров $(\text{ZnO})_n$ в настоящее время отсутствуют, что затрудняет понимание природы размерных эффектов оксида цинка. Для решения этой проблемы могут быть использованы методы квантовой химии, которые позволяют одновременно определять структурные и энергетические параметры данных систем.

Целью данной работы является теоретическая оценка стабильности кластеров, представляющая особый интерес, т. к. именно эта характеристика частиц может быть оценена экспериментально, например, методом времяпролетной масс-спектропии. Расчеты проведены для стехиометрических нейтральных $(\text{ZnO})_n$ и заряженных $(\text{ZnO})_n^+$ кластеров в диапазоне размеров $n = 2-9$.

Все квантово-химические расчеты в данной работе проводились в рамках теории функционала плотности с использованием гибридного обменно-корреляционного функционала B3LYP в базисе 6-31+G(d). Все расчеты нейтральных кластеров проводились для состояния с нулевым спином в закрытой оболочке ($S = 0$), а заряженных кластеров – для состояния со спином $S = 1/2$.

В работе были получены оптимальные геометрии стехиометрических нейтральных $(\text{ZnO})_n$ и заряженных $(\text{ZnO})_n^+$ кластеров для $n = 2-9$, энергии и основные каналы фрагментации. Наиболее устойчивыми оказались плоские кольцеобразные кластеры для $n = 2-7$, а для $n = 8,9$ – объемные каркасные структуры. Полученные результаты находятся в соответствии с экспериментальными данными [2].

1. Ozgur, Ya. I. Alivov, C. Liu, A. Teke, M. A. Reshchikov, S. Dogan, V. Avrutin, S.-J. Cho, H. Morkoc. *J. App. Phys.* **98**, 041301 (2005).

2. A. V. Bulgakov, A. B. Evtushenko, Y. D. Shukhov, I. Ozerov, W. Marine. *App. Phys. A*. In press (2010).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. Л. Зильберберг.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕКСТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МЕЗОПОРИСТЫХ СИЛИКАТНЫХ ПЛЁНОК МЕТОДОМ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ

К. А. Турубанов, М. К. Ковалёв, М. С. Мельгунов
Институт катализа имени Г. К. Борескова СО РАН

Класс силикатных материалов с упорядоченной системой пор представляет собой большой интерес к изучению. Эти материалы имеют высокую удельную поверхность. Становится возможным формировать низкоразмерные элементы и выращивать наноструктуры в объёме пористого вещества, создавать датчики и биологические сенсоры, так как число "рецепторов" многократно возрастает. Это может быть база для создания обширного ассортимента катализаторов с заданным составом активных центров, и селективными по отношению к молекулярным размерам реагентов. На основе мезопористых силикатных плёнок могут быть созданы оптические ячейки, волноводы и изделия для микроэлектроники. Объектом исследования явились силикатные плёнки. Они также представляют огромный интерес, обусловленный перспективами их потенциального использования.

В данной работе были получены плёнки с различными характерными размерами пор. Текстура поверхности была исследована с помощью эллипсометрической порометрии. Экспериментальная установка состояла из нескольких блоков: блок подачи газа регулировал концентрацию адсорбата в инертном газе – носителе, аргоне; с помощью эллипсометра и персонального компьютера производилась обработка результатов. По полученным оптическим характеристикам мы построили изотерму адсорбции и исследовали морфологию поверхности. Данный метод является наиболее удобным для исследования тонких плёнок и позволяет наблюдать эволюцию текстуры со временем.

1. В. Б. Фенелонов «Введение в физическую химию формирование супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов».

2. Clement Sanchez, Cedric Boissiere, David Grosso, Christel Laberty, and Lionel Nicole «Design, Synthesis, and Properties of Inorganic and Hybrid Thin Films Having Periodically Organized Nanoporosity».

Научный руководитель – канд. хим. наук М. К. Ковалёв.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СВЕТОПРОПУСКАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Н. С. Филатова, А. О. Яковлев

Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск

К керамическим материалам, которые используются как конструкционные механически прочные материалы для широкого диапазона рабочих температур, предъявляют высокие требования по физико-техническим свойствам, поэтому контроль качества керамики очень важен в технике ее получения. Светопроникающая способность керамики может быть комплексным показателем структуры материала. Задача данной работы – объяснить, как с помощью светопроникающей способности материала можно определить его структуру.

Объектами исследования стали образцы, изготовленные из различных по своей структуре и физико-механическим свойствам керамических материалов: алюмооксидной (А-995, ВК95-1) и форстеритовой (ЛФ-II) керамики.

Свойства керамических материалов, представляющих собой в общем случае систему, состоящую из кристаллических фаз, стекловидной фазы и пор, в значительной степени определяются природой кристаллической фазы.

Нами была проведена серия опытов, в ходе которых через исследуемые образцы пропускалось световое излучение разной длины волны в диапазоне от 400 до 800 нм, показания фиксировались люксметром.

Результаты исследования показали, что области излучения 350-550 нм, светопроникание зависит от длины волны и характеризуется коэффициентом поглощения, который практически не изменяется. В области излучения 550-740 нм, светопроникание заметно уменьшается с увеличением длины волны излучения. Коэффициент поглощения изменяется от 1,5 до 0,7 для ВК95-1 и ЛФ-II и от 2,8 до 2 для образца А-995. В области излучения 740-800 нм, светопроникание резко уменьшается практически до нуля. Эта зависимость справедлива для всех трёх видов керамики.

Таким образом, светопроникание имеет существенную зависимость от структуры материала: максимальное светопроникание характерно для однофазной корундовой крупнокристаллической керамики А-995, характеризующейся сравнительно малой пористостью, а минимальное – для алюмооксидной керамики ВК95-1, структура которой сложена из неоднородных кристаллов корунда и значительного количества внутренних пор.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. П. М. Плетнёв.

ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДНЫХ НАНОПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

А. В. Фокин

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

Нанопористые материалы являются весьма перспективным материалом для исследования. Благодаря большой удельной поверхности пор и разнообразию веществ, из которых они изготавливаются, мембраны такого типа находят множество применений: от фильтрования жидкостей и газов до высокоэффективных катализаторов.

Целью данной работы являлось получение оксидного материала с высокой удельной поверхностью пор и исследование свойств полученных мембран. В исследовании использовались нанопорошки, полученные в ИТПМ и ИЯФ СО РАН. Процесс их получения основан на испарении исходного вещества под воздействием электронного пучка, создаваемого ускорителем электронов, и позволяет получать нанопорошки широкого спектра веществ (в том числе различных оксидов). Нанопорошок, осевший на фильтре, смешивался с дистиллированной водой, перемешивался миксером на высоких оборотах и длительное время отстаивался. Верхний слой получившегося коллоида использовался в эксперименте.

В данной работе для сокращения времени получения мембран использовался метод электрофоретического осаждения. Явление электрофореза заключается в движении частиц дисперсной фазы коллоида под действием внешнего электрического поля. Данный метод значительно сокращает время получения мембран и позволяет варьировать степень уплотнения частиц в будущей мембране. В процессе проведения электрофореза наночастицы выпадали в осадок, и коллоид разделялся на две части – гель и жидкую фазу с незначительной концентрацией частиц. После удаления жидкой фазы гель высушивался с контролем влажности и получался пористый материал. Полученный материал запекался в печи для улучшения микротвердости, прочности и спаянности структуры. В исследовании участвовали порошки следующих веществ: TiO_2 , SiO_2 , Cu_2O , Al_2O_3 . Удельная поверхность нанопорошков и полученных мембран определялась с помощью автоматического адсорбционного прибора «Сорби-М». Исследование структурных свойств мембран производилось с помощью электронного сканирующего микроскопа Hitachi TM-1000. Таким образом, оригинальным методом были получены нанопористые мембраны и исследованы их свойства.

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

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР В ДВУХСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

К. О. Шарифулин

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского

Использование мощных ионных пучков (МИП) наносекундной длительности для модификации поверхностных слоев материалов основано на быстром нагреве и охлаждении мишени. Наиболее слабо изученными и весьма перспективными с точки зрения фундаментальной науки и промышленного применения являются исследования поверхностных слоев двухслойных металлических систем, облученных МИП.

Объектами экспериментального исследования являлись металлические образцы из алюминия, меди и магния с нанесенной на них методом термовакuumного напыления пленкой никеля толщиной $\sim 0,07$ мкм. Облучение МИП осуществлялось на ускорителе «ТЕМП» со следующими параметрами: энергия ионов – 300 кэВ, состав пучка – 70 % углерода и 30 % водорода, длительность импульса – 60 нс. Исследование поверхности производилось с помощью растрового электронного микроскопа Philips Sem-515.

Установлено, что в результате воздействия МИП происходит быстрое плавление и затвердевание поверхностного слоя, причем рельеф поверхности приобретает периодический характер и на поверхности формируются микро- и наноразмерные шаровидные образования. Для разных образцов средние размеры микрообразований отличаются значительно и находятся в зависимости от режимов облучения МИП и характеристик материала подложки, а размеры нанообразований примерно одинаковы. Масс-спектрометрическим анализом установлено, что микрообразмерные шарики состоят из смеси материалов подложки и пленки, а нанозарики – из материала пленки. В связи с этим высказано предположение, что в процессе облучения происходит частичное распыление пленки и следующее за этим её осаждение на поверхность в виде шаровидных наноразмерных образований. Также установлено, что с увеличением плотности тока происходит увеличение размеров больших образований. Это связано с более интенсивным нагревом поверхности и, как следствие, с более сильным плавлением и перемешиванием материалов подложки и пленки. Обсуждаются два механизма образования шаровидных образований на поверхности мишеней.

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

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT20 С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНОКУЛЯТОРОВ

Н. В. Шелудько, Е. Д. Головин
Новосибирский государственный технический университет
Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН

Титановые сплавы широко применяются в качестве авиационных материалов. В условиях эксплуатации воздушных судов особенно важным свойством конструкций является их надежность. Получение высококачественных соединений титановых сплавов методом сварки является актуальной научно-прикладной задачей. Одним из направлений исследований в этой области является применение тугоплавких мелкодисперсных порошков (инокуляторов) в процессе сварки.

В ИТПМ СО РАН был поставлен эксперимент по сварке титанового сплава VT20 с применением инокуляторов TiN+Cr и Y₂O₃. Сварка производилась при помощи CO₂-лазера в защитной атмосфере гелия. В качестве образцов служили пластины VT20 толщиной 3 мм, свариваемые встык, с предварительно нанесенными на свариваемые кромки инокулирующими частицами.

Из полученных образцов были изготовлены шлифы для исследования микроструктуры сварных соединений, а также образцы для проведения испытаний на статическое растяжение и усталостную долговечность.

В результате металлографических исследований было установлено, что применение инокуляторов приводит к измельчению структуры сварных швов, что должно приводить к повышению их качества по сравнению с образцами, сваренными без применения инокуляторов. Это подтвердилось результатами механических испытаний. Значения пределов текучести и прочности сварных швов, полученных с применением инокуляторов, остаются на уровне исходного материала, в то время как у образцов, сваренных без применения инокуляторов, незначительно снижаются.

После же проведения испытаний на усталостную долговечность, у образцов, свариваемых без добавления инокуляторов, происходит значительное падение долговечности, значения которой в 3–5 раз ниже, по сравнению с исходным материалом. В случае применения инокуляторов, падение усталостной долговечности не превышает 30 %.

Полученные нами результаты по сварке титанового сплава VT20 с применением инокуляторов являются весьма многообещающими, что указывает на необходимость продолжения исследований в этой области.

Научные руководители – д-р техн. наук, проф. В. А. Батаев,
д-р физ.-мат. наук А. Н. Черепанов, проф. В. Г. Буров.

ВЛИЯНИЕ ЛИГАТУР Al-Zr-Mg-B И Cu-TiCN НА СВОЙСТВА СЕРОГО ЧУГУНА

Н. В. Шелудько, А. Ю. Голиков, Е. Д. Головин, В. А. Кузнецов
Новосибирский государственный технический университет
ООО «Сибирский центр литейного производства»

Одним из материалов, широко применяемых для изготовления деталей машин и элементов конструкций, является литой серый чугун. Улучшение его структуры и повышение комплекса механических свойств представляет собой важную научную и прикладную задачу.

Цель данной работы заключалась в повышении механических свойств серого чугуна путем его модифицирования. Отливки получали на Опытном заводе Сибирского отделения РАН. В качестве шихты использовали лом чугуна марки СЧ15. Металл нагревался до 1350 °С и подавался в ковш, его масса составляла 700 кг. В ходе работы был получен немодифицированный сплав, выполняющий функцию контрольного материала. Модифицирование чугуна осуществлялось с использованием лигатур типа Al-Zr-Mg-B и Cu-TiCN. Влияние модифицирования оценивали на основании результатов металлографических исследований и анализа механических свойств материалов.

Металлографический анализ показал, что в контрольном сплаве графит равномерно распределен по объему материала. По сравнению с контрольным материалом, сплав, модифицированный путем введения лигатуры Al-Zr-Mg-B, обладает менее однородной структурой. В сплаве, модифицированном с применением лигатуры Cu-TiCN, наблюдаются графитные включения двух типов. В большей части объема присутствуют равномерно распределенные включения завихренной формы. Второй тип графита представляет собой мелкие пластины, расположенные в междендритном пространстве. В результате модифицирования чугуна СЧ15 добавками Cu-TiCN увеличивается дисперсность структурных составляющих пластинчатого перлита.

В процессе механических испытаний на растяжение цилиндрических образцов установлено, что модифицирование чугуна с использованием лигатуры Al-Zr-Mg-B влияния на прочностные свойства материала практически не оказывает. В то же время введение лигатуры Cu-TiCN привело к росту предела текучести на 20,5 %, а предела прочности на 19 %. Объясняется это повышением дисперсности пластинчатого перлита. Полученные данные подтверждают эффективность модифицирования серого чугуна путем введения в материал лигатуры типа Cu-TiCN.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. А. А. Батаев,
проф. В. Г. Буров.

ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ И ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ

А. Е. Широбоков, Р. А. Шушаков, А. В. Корепанов, А. А. Козулин
Томский государственный университет

Испытание на ударную вязкость широко применяется для определения сопротивления хрупкому разрушению металлов и сплавов. Применение сервогидравлического испытательного стенда INSTRON VHS-40/50, существенно расширяет информативность испытаний по сравнению с известными копровыми установками, позволяя регистрировать изменение во времени параметров силового воздействия и смещения образцов.

В данной работе обсуждается возможность совмещения экспериментальных и численных методов для определения закономерностей динамического разрушения материалов при испытании образцов материалов на ударный изгиб. Предложена физико-математическая модель, предназначенная для имитационного компьютерного моделирования динамических испытаний на трехточечный изгиб при скоростях ударника от 1 до 20 м/с. Расчеты выполнялись конечно-разностными методами. Механическое поведение материалов описывали с помощью модели упруго-пластического поведения материала, учитывающей деформационное упрочнение и влияние скорости деформации на напряжения течения. Также предусматривалось разрушение образца. Для моделирования распространения трещины использована эрозионная модель, которая предусматривает исключение из расчета сеточных элементов при достижении в них предельно допустимой кумулятивной пластической деформации. Величина предельно допустимой деформации принималась равной предельной деформации при растяжении того же материала на одноосное растяжение.

Плотность элементов расчетной сетки трехмерной модели подбиралась из условий сходимости численных результатов и составляла около 100000 элементов. При этом расчетная сетка в ударнике и опорах должна иметь сгущение в области их непосредственного контакта с образцом. Регулярную сетку со сгущением необходимо было формировать также в области, через которую предполагается распространение трещины.

Сопоставление результатов расчета движения поверхности контакта образца и ударника с соответствующими экспериментальными диаграммами, позволяет оценивать параметры динамической вязкости разрушения. Проследить картину распределения деформации, напряжений и их изменения во времени.

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

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА В РЕАГИРУЮЩЕЙ ПОРОШКОВОЙ СИСТЕМЕ Ti-AL

Е. В. Шишкина

Томский государственный университет

Процессы, протекающие при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе (СВС), характеризуются многостадийностью, многофазностью и широким диапазоном изменения физико-химических параметров. Разработка методов исследования физико-химических процессов синтеза в реагирующих порошковых материалах имеет практическую значимость для развития современных технологий получения материалов.

Процесс фазообразования в системе Ti-Al зависит как от состава исходной реакционной системы, так и от исходного размера частиц Ti [1]. Возможные формируемые фазы – $TiAl_3$, $TiAl$, Ti_3Al – образуются в результате протекания последовательных реакций. Исследование взаимодействия в порошковой смеси Ti-Al привело к построению следующей качественной модели формирования многофазных продуктов реакции в рассматриваемой системе. Наиболее вероятным механизмом, реализующимся на первом этапе взаимодействия, является зарождение слоя интерметаллида $TiAl_3$ путем диффузии атомов Al из расплава в решетку частиц Ti. При образовании интерметаллида возникают внутренние сжимающие и внешние растягивающие напряжения, что может привести к разрушению $TiAl_3$. Снижение концентрации Al в области контакта с титановым материалом приводит к образованию соединения $TiAl$, находящегося в равновесии с фазой $TiAl_3$. На заключительной стадии структурообразования формируется фаза Ti_3Al .

Моделировалось поведение реагирующей порошковой среды в системе Ti-Al с учетом многостадийности химических превращений. В рамках модели решается ряд сопряженных задач: теплового баланса реагирующей смеси, макрокинетики химических превращений, фильтрации расплава легкоплавкого компонента [2]. Учитывается изменение концентрации компонентов смеси, пористости и фазового состава.

1. Вольпе Б. М. Разработка физических основ интегральных технологий самораспространяющегося высокотемпературного синтеза дисперсных материалов на основе легированных интерметаллических соединений никеля и титана: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Томск, 1998. – 44 с.

2. В. Н. Лейцин, М. А. Дмитриева, Т. В. Колмакова, И. В. Кобраль Моделирование физико-химических процессов в реагирующих порошковых материалах // Изв. вузов. Физика. - № 11, 2006. – С. 11–17.

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

АНИЗОТРОПИЯ ФМР В ПЛЕНКАХ $\{(CoFeB)+(SiO_2)\}_{60}$

М. С. Шлапаков

Кубанский государственный университет

Методом ферромагнитного резонанса (ФМР) исследована серия образцов магнитной пленочной наносистемы $\{(CoFeB)+(SiO_2)\}_{60}$, состоящей из 60 тонких магнитных слоёв, нанесенных на кварцевую пластину. Магнитный слой содержит магнитные гранулы аморфного сплава CoFeB внедренные в немагнитную матрицу SiO₂. Гранулы имеют размеры в пределах 3-5 нм. Образцы, размерами порядка 3x3 мм², вырезаны из структуры длиной 255 мм, синтезированной в Воронежском ГТУ методом ионно-плазменного распыления мишеней из CoFeB и SiO₂, с последующим совместным осаждением на кварцевые подложки. Толщина магнитного слоя x вдоль структуры плавно изменялась в пределах от 2,30 до 4,54 нм.

Исследования спектров ФМР проведены на частоте 9,13 ГГц при комнатной температуре с использованием ЭПР спектрометра. Для каждого образца наблюдались спектры при ориентации постоянного магнитного поля \mathbf{H} относительно плоскости пленки от $\alpha=0$ ($\mathbf{H}||\mathbf{n}$) до 90° ($\mathbf{H}\perp\mathbf{n}$) (\mathbf{n} – вектор нормали к плоскости пленки). При $\alpha=0$ и 90° спектры записывались также для двух случаев ориентации образца относительно \mathbf{H} – вдоль ($\theta=0$) и поперёк ($\theta=90^\circ$) направления изменения x .

Характер зависимостей резонансных полей H_r при $\alpha=0$ и 90° от x свидетельствует о неоднородности состава композитных магнитных слоёв. На зависимостях ширины линии поглощения ΔH от величины H_r можно выделить две характерные области. В одной – увеличение величины H_r примерно на 500 Э приводит к изменению ΔH от 200 до 1000 Э. В другой области (более высокие поля) – зависимость $\Delta H(H_r)$ носит случайный характер, а $\Delta H \approx 1000$ Э.

Сравнение спектров, наблюдаемых на одних и тех же образцах при $\alpha = 90^\circ$ для двух ориентаций магнитного поля в плоскости пленки, показало наличие существенных различий в значении резонансных полей H_0 ($\theta=0$) и H_{90} ($\theta = 90^\circ$). Значения ширины и интенсивности резонансных пиков при $\theta = 0$ и $\theta = 90^\circ$ практически одинаковы. При увеличении H_r значение $\delta H = H_0 - H_{90}$ изменяется от 150 Э до, практически, нулевого значения. Значительное изменение δH наблюдалось в той же области резонансных полей, что и для ΔH . В случае $\alpha = 0$ различие в спектрах для $\theta = 0$ и 90° не обнаружено.

Полученные результаты указывают на наличии анизотропии, характеризующейся симметрией относительно выделенной оси в плоскости пленки. Учет влияния одноосной кристаллографической анизотропии в рамках теории Киттеля не позволяет объяснить экспериментальную зависимость $\delta H(H_r)$. Возможно, что природа наблюдаемой анизотропии обусловлена асимметрией магнитных гранул.

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

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМИ МЕТОДАМИ

Е. О. Юрова, Д. Г. Масейчук, А. В. Давыдова
Омский государственный технический университет

Важным, бурно развивающимся направлением науки о материалах является инженерия поверхности применительно к созданию функциональных наноструктурных пленок и покрытий с характерным размером кристаллитов от 1 нм до нескольких десятков нм. Важным преимуществом наноструктурных пленок (НП) является то, что можно получать сверхтвердые материалы с одинаковой твердостью, но различными значениями модуля упругости. НП находят успешное применение для защиты поверхности изделий и инструмента, подвергающегося одновременному воздействию высоких температур, агрессивных сред и различных видов износа. наноструктурные пленки оказываются незаменимыми для создания нового поколения биосовместимых материалов – ортопедических и дентальных имплантатов. Напыление тонких пленок вещества производится сегодня при помощи специальных аппаратов, которые полностью контролируют весь процесс напыления, следят за толщиной пленок и площадью покрываемой поверхности.

Ионно-плазменное напыление в вакууме – это наиболее распространенный процесс упрочнения режущего инструмента и технологической оснастки. Данный метод позволяет наносить тонкопленочные упрочняющие покрытия (1–10 мкм) на основе карбидов, нитридов, карбонитридов, окислов, обладающих высокой твердостью, теплостойкостью, износостойкостью. При этом данные покрытия позволяют снизить силу трения при резании сталей на 20–30 %, уменьшить коэффициент усадки стружки и усилия резания на 15–20 %, снизить температуру при резании и значительно от 2 до 6 раз повысить стойкость инструмента с одновременным увеличением производительности.

В результате были выработаны рекомендации оптимальных режимов ионной имплантации для достижения высоких эксплуатационных свойств тонкопленочных нагревателей на полиимидной подложке. Проведенные испытания механических и электрических свойств пленочных структур подтвердили положительный эффект от применения предложенного комбинированного ионно-плазменного метода обработки материалов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. И. Блесман.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Е. С. Юрковская

Новосибирский государственный технический университет
Новосибирский государственный университет

В последнее время, внимание многих исследователей сосредоточено на изучении углеродных пленок, из-за многочисленных приложений и нерешённых проблем, связанных с их синтезом. Успехи вакуумно-плазменной технологии позволили реализовать синтез поликристаллических или аморфных углеродных покрытий на протяженных твердых подложках в условиях метастабильности их структуры при давлении ниже атмосферного [1]. Одна из важных задач этого направления – получение прозрачных пленок в качестве защитных покрытий для оптических систем [2]. Контролируемое и прогнозируемое получение слоев с заданными свойствами имеет определенные трудности в разработке технологии для каждого конкретного метода нанесения пленки [3]. В работе представлен реферативный обзор публикаций об оптических свойствах углеродных покрытий, полученных с использованием магнетронно-распылительных систем: зависимость свойств покрытий от давления рабочего газа (или смеси газов), материала и температуры подложки и некоторых других параметров. Установлено, что структура покрытий и их оптические свойства существенно зависят от соотношения газовых компонентов, варьируемых в широком диапазоне. В связи с этим, поиск условий синтеза покрытий с заранее заданными свойствами представляет важную, необходимую и интересную задачу. В работе сообщается о получении углеродных покрытий в НГУ при помощи планарного магнетрона в углеводородной атмосфере с применением ионной стимуляции, в условиях безмасляной атмосферы вакуумной камеры. Исследование оптических свойств осуществлялось методами спектрофотометрии, ИК и КР спектроскопии, поверхность – SEM. Работа выполнена в рамках ФЦП: «Развитие потенциала высшей школы России»

1. А. Н. Довгань, В. П. Колесник. //Авиационно-космическая техника и технология, 2008, 8(55), с. 21-25.

2. Kania D., Landstrass M., Piano M. et al. Diamond radiation detectors//Diamond and Related Materials, 1993, V2, p. 1012 -1019.

3. Рамиз Ахмед Мохаммед. Ионно-плазменное осаждение пленок а-С:Н и их свойства: Дис. канд. физ.-мат. наук : 01.04.07 : Москва, 2002, с. 8–15.

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

ФОРМИРОВАНИЕ МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННОЙ ФАЗЫ ϵ -Fe₂O₃ В НАНЕСЕННЫХ ЖЕЛЕЗООКСИДНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ

С. С. Якушкин

Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН
Новосибирский государственный университет

Проблема получения катализаторов на основе оксидов железа с однородным распределением частиц по размерам связана с низкой термической стабильностью магнитных фаз – FeO, Fe₃O₄, γ -Fe₂O₃, легко переходящих в α -Fe₂O₃, и их склонностью к сегрегации. В 1998 году было показано, что пространственная стабилизация наночастиц γ -Fe₂O₃ при определенных условиях может приводить к формированию термически более устойчивой фазы ϵ -Fe₂O₃ [1].

Несмотря на достаточно большое количество работ по синтезу материалов на основе ϵ -Fe₂O₃ до последнего времени не удавалось разработать метод получения системы свободной от других фаз оксида железа, что связано, в первую очередь, с низкой термической стабильностью фазы ϵ -Fe₂O₃, а также с отсутствием информации о начальных стадиях ее формирования.

В данной работе методом ФМР в режиме *in-situ* исследован процесс формирования и эволюции частиц ϵ -Fe₂O₃ в железосодержащих катализаторах. Анализ и сопоставление полученных результатов с данными методов РФА, Мёссбауэровской спектроскопии, микроскопии высокого разрешения, а также измерениями намагниченности показали, что в системе Fe₂O₃/SiO₂, полученной методом пропитки по влагеомкости, формируются частицы ϵ -Fe₂O₃ с узким распределением по размерам без образования других фаз оксида железа [2,3].

1. R. Zboril, M. Mashlan, K. Barcova and M. Vujtek, Thermally Induced Solid-State Syntheses of γ -Fe₂O₃ Nanoparticles and Their Transformation to α -Fe₂O₃ via ϵ -Fe₂O₃: Hyperfine Interact. **139-140**, 2002, pp. 597–606.

2. Г. А. Бухтиярова, О. Н. Мартянов, С. С. Якушкин, М. А. Шуваева, О. А. Баюков, Состояние железа в наночастицах, полученных методом пропитки силикагеля и оксида алюминия раствором FeSO₄: ФТТ **52**, 2010, стр. 771–781.

3. G. A. Bukhtiyarova, O. N. Martyanov, S. S. Yakushkin, Facile synthesis of the stable mono phase ϵ -Fe₂O₃ nanosize particles on the silica: J. Mat. Chem. to be published.

Научный руководитель – д-р хим. наук О. Н. Мартянов.

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

CO-TRANSCRIPTIONAL SPLICING AND GENE ORGANIZATION

P. Ponomarenko
Novosibirsk State University
University of California, San Diego

mRNA splicing plays an important role in organism development by controlling gene expression. For example alternative splicing of *Drosophila* *dsx* and *Transformer* genes regulates production of proteins that control *Drosophila* sex definition. In the last decade a number of experiments [1] show that splicing can be co-transcriptional. It means that pre-mRNA can be spliced and be read from DNA at the same time. There are speculations in [1] that because transcription and splicing are coupled they may interact with each other. For example changes in transcription elongation rate (rate of DNA reading) may affect alternative splicing.

Transcription elongation rates vary in different genes from 1.1 to 4.3 kb/min with an average of around 3.8 kb/min in humans [2]. It depends on genes' chromatin organization. Despite many papers speculating on the idea of transcription and splicing coupling and interplay, there are no mathematical models describing it.

First of all, we made a kinetic model of splicing that includes transcription. This model describes co-transcriptional splicing in general and can be easily modified and expanded to use different transcription and splicing models.

Then we tested our model on *LT- α* and *β -globin* genes, for which experimental data on splicing kinetics was obtained [3]. Our model predicted that in order to make transcription and splicing efficient in general transcription elongation rate should be reduced at the end of genes, exactly on the last exon. We also predicted that the last exons should be much longer than all other exons for the same reason.

Finally, we verified our predictions on genome-wide analysis of human genes' organization and chromatin structure (dense chromatin structure may reduce local transcription elongation rate): the last exons are significantly longer than all other, the last exons have significantly denser chromatin structure, and especially among shorter last exons.

-
1. A. R. Kornblihtt, M de la Mata, J. P. Fededa, M. J. Munoz, G. Nogues Multiple links between transcription and splicing, *RNA*, 10, p1489-1498 (2004).
 2. J. Singh and R. A. Padgett, Rates of in situ transcription and splicing in large human genes, *Nature Struct. Mol. Biol.*, 16(11), p1128-1133 (2009).
 3. A. Audibert, D. Weil, and F. Dautry, In Vivo Kinetics of mRNA Splicing and Transport in Mammalian Cells, *Mol. and Cell Biol.*, Oct., p. 6706–6718 (2002).

Research supervisor –Prof. A. Hoffmann.

INVESTIGATION OF POROUS STRUCTURES BY MAGNETIC RESONANCE IMAGING

M. Van Landeghem, B. Blümich, J-B. d'Espinose de Lacaillerie
Laboratoire de Physico-chimie des polymères et des Milieux Dispersés, UMR
7615 CNRS UPMC, ESPCI ParisTech, 10 rue Vauquelin, F-75005 Paris, France
Institute of Technical and Macromolecular Chemistry, RWTH Aachen
University, D-52056 Aachen, Germany

Today energy is a major issue for sustainable development. The building industry is trying to develop high performance mortars with thermal isolation properties. Not only do these mortars have to have a low thermal conductivity, but they must also be waterproof. To attain this, the porous structure of such materials must be known and cracks must obviously be avoided, otherwise the performance of these materials is lost.

MRI (Magnetic Resonance Imaging) is a potentially suitable tool for studying porous structures, because it allows for non-destructive measurements. However, classical MRI is not particularly adapted for the study of porous materials. We therefore adapted this method in order to measure materials with high heterogeneities of magnetic susceptibilities leading to large internal magnetic field gradient.

First we used Stray Field Imaging [1], a high field method allowing measurements with both high sensitivity and high spatial resolution leading to the fine determinations of relevant physical properties such as effective diffusion coefficients. Then we used a mobile tool [2] allowing, despite a lower sensitivity and a poorer resolution, to perform measurements directly on-site.

With those two methods, we obtain both in- and ex-situ the amplitude and the relaxation rates of the nuclear magnetic signal. By simulating the evolution of the amplitude and the relaxation rates over the time and by comparing them with the experiments, we were able to show that it is possible to deduce from MRI data important characteristics of the materials under study, such as their state of hydration and their pore connectivity. [3]

1. J. Mitchell et al. 2006 *Spatially resolved nuclear magnetic resonance studies of planar samples*. **Progress in NMR Spectroscopy**;48(4):161-181.

2. B. Blümich et al. 2008 *Mobile single-sided NMR*. **Progress in NMR Spectroscopy**;52(4):197-269.

3. M. Van Landeghem et al. 2010 *Analysis of multi-site 2D relaxation exchange NMR*. **Concepts in Magnetic Resonance A**; accepted for publication.

Research supervisor – Prof. J.-B. d'Espinose de Lacaillerie.

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОЭМИССИОННЫХ СВОЙСТВ НАНОЧАСТИЦ ФТОРИРОВАННОГО ГРАФИТА

Ю. А. Альгаер, К. В. Лейбович

Новосибирский государственный университет

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

В данной работе исследованы автоэмиссионные свойства углеродных слоев на поверхности частиц фторида графита C_2F , восстановленных гидразином-гидратом в течение различного времени. Ожидание появления автоэмиссионных свойств, отличных от графита, связано с возможной разориентацией фторграфитовых частиц с восстановленным и электропроводящим углеродным слоем на поверхности кремниевой подложки. Образцы, полученные на первой стадии восстановления, обладают максимальной эффективностью автоэмиссионных свойств. Увеличение толщины восстановленного углеродного слоя приводит к ухудшению автоэмиссионных характеристик. Полевой эмиссии на исходной подложке с невосстановленным углеродным слоем на поверхности частиц фторида графита зафиксировано не было. По всей видимости, это связано с диэлектрическими свойствами исходного фторида графита. При обработке подложки парами гидразин-гидрата поверхность частиц приобретает электропроводимость, что приводит к появлению автоэмиссионного тока. Автоэмиссионными центрами в таком катоде, скорее всего, являются края частиц, отстоящие от поверхности. Увеличение времени обработки частиц парами восстановителя приводит к дальнейшему увеличению автоэмиссионных свойств, что можно видеть по уменьшению порогового поля. Дальнейшее продолжение восстановления частиц фторграфита C_2F парами гидразина приводит к увеличению порогового поля, что интерпретируется нами как ухудшение автоэмиссионных свойств. Причиной уменьшения полевого тока является увеличение толщины восстановленного углеродного слоя. Увеличение толщины токопроводящего слоя приводит к уменьшению эффекта усиления поля на границе частиц.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ МЕТОДОМ ^{59}Co ЯМР ВО ВНУТРЕННЕМ ПОЛЕ ОБРАЗЦА

А. С. Андреев

Новосибирский государственный университет
Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН

Кобальтсодержащие катализаторы широко используются в промышленности в процессах Фишера-Тропша, в процессах дожига и др. Знание строения активных центров открывает возможность для улучшения и разумного управления важнейшими свойствами катализаторов.

Метод ЯМР на ядрах ^{59}Co во внутреннем поле образца позволяет получать на молекулярном уровне информацию о строении металлической кобальтсодержащей фазы: с помощью метода ^{59}Co ЯМР можно определять количественно как различные виды упаковок Co^0 , так и всевозможные дефекты структур.

Задача работы состояла в реализации метода ^{59}Co ЯМР во внутреннем поле образца и его дальнейшем привлечении к исследованию строения катализаторов Фишера-Тропша и катализаторов дожига. В качестве модельного образца был приготовлен мелкодисперсный металлический Co^0 с размером частиц порядка 100 Å. Согласно [1] толщина скин-слоя для Co^0 составляет 8,6 мкм, поэтому

влиянием скин-эффекта можно пренебречь. В спектре ^{59}Co ЯМР данного образца наблюдаются линии от различных типов упаковки: гранецентрированной кубической (г.ц.к.) – 212,8 МГц, гексагональной плотноупакованной (г.п.у.) – 219,8 МГц, дефектов кубической (д.к.у.) – 216 МГц и гексагональной упаковки (д.г.у.) – 217,4 и 223,5 МГц (Рис. 1). Сравнение с литературными данными [1] позволяет сделать вывод, что положение дефектов и их количество определяются способом получения Co^0 .

В работе также были получены первые спектры ^{59}Co ЯМР реальных $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ катализаторов Фишера-Тропша и $\text{Co}-\text{Al}$ керметов.

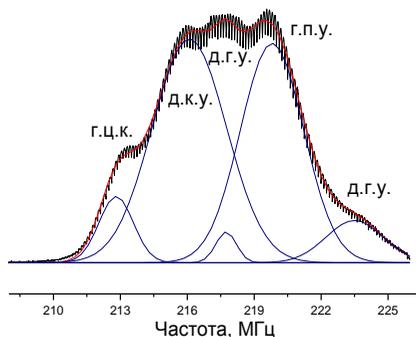


Рис. 1. Спектр ^{59}Co ЯМР металлического Co^0 во внутреннем поле

1. M. E. Smith et al., ^{59}Co NMR study of the allotropic phase transformation in small ferromagnetic cobalt particles, *Phys. Rev. B* 79, 054102 (2009).

Научный руководитель – д-р хим. наук О. Б. Лапина.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕНСОРНЫХ СВОЙСТВ ВОССТАНОВЛЕННОГО УГЛЕРОДНОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ФТОРИРОВАННОГО ГРАФИТА

К. С. Бабин

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

В данной работе было продемонстрировано изменение проводимости восстановленного гидразином поверхностного слоя фторированного графита в присутствии газов NO_2 , NH_3 , Cl_2 . Взаимодействие паров гидразина с поверхностными слоями фторида графита C_2F приводит к формированию тонкого углеродного электропроводящего слоя. У восстановленной поверхности фторированного графита можно ожидать появление сенсорных свойств, по аналогии с графеновыми структурами, механически нанесенными на поверхность окисленного кремния [1].

Измерение тока проводилось двухконтактным методом. Показано, что проводимость поверхности изменяется при пропускании газа через камеру с сенсором. После обдува воздухом происходит восстановление сенсора в исходное состояние. Измерены временные зависимости сенсорного отклика для образцов с разным временем восстановления, следовательно, имеющих различное исходное сопротивление. При напуске газов NO_2 , Cl_2 в камеру с сенсором ток, проходящий через образец, увеличивается, при напуске NH_3 – уменьшается. Ранее было показано, что электропроводимость монослоя графита – графена – на поверхности окисленного кремния определяется электронной плотностью на уровне Ферми. Взаимодействие поверхности графена с адсорбированными молекулами газов с образованием донорно-акцепторных или ковалентных химических связей приводит к переносу электронной плотности и изменению проводящих свойств материала [2]. Можно предположить, что наблюдаемый характер изменения проводимости под действием молекул акцепторов электронной плотности (NO_2 , Cl_2) или её доноров (NH_3) является следствием того, что слой графена в нормальных условиях обладает дырочной проводимостью [3].

1. F. Schedin, et al. Detection of individual gas molecules adsorbed on graphene. Nature Materials 6, 652 - 655 (2007)

2. K. S. Novoselov, et al. Two dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene. Nature 438, 197–200 (2005)

3. Ganhua Lu, et al. Gas Detection Using Low-temperature Reduced Graphene Oxide Sheets. App. Phys. Lett. 94, 083111 (2009)

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

ИЗУЧЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ КВАНТОВОЙ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ МЕХАНИКИ В ПРИМЕНЕНИИ К РАСЧЕТАМ ХИМИЧЕСКИХ СДВИГОВ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ МОЛЕКУЛ В РАСТВОРЕ

Э. Р. Байсупова

Казанский государственный университет им. В. И. Ульянова–Ленина

Развитие комбинированных методов квантовой и молекулярной механики (QM/MM, ONIOM) существенно расширило рамки применимости вычислительных методов для изучения молекулярных систем достаточно больших размеров. Нами была изучена возможность применения этих методов для исследования влияния эффектов растворителя (ацетон) на константы магнитного экранирования ядер фосфора ^{31}P . В качестве объектов исследования были взяты малополярные молекулы триметилфосфина ($\text{P}(\text{CH}_3)_3$), триэтилфосфина ($\text{P}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$) и полярные молекулы триметилбетаина ($\text{P}(\text{CH}_3)_3\text{-CS}_2$) и триэтилбетаина ($\text{P}(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{-CS}_2$). Метод ONIOM основан на приближении, допускающем аддитивность погрешностей, возникающих при расчете энергии большой системы на низком уровне ($E_{\text{real}}^{\text{low}}$) по сравнению с неэмпирическим расчетом высокого уровня точности ($E_{\text{real}}^{\text{high}}$) и при расчете энергий модельной подсистемы, рассматриваемой с помощью тех же методов ($E_{\text{model}}^{\text{low}}$, $E_{\text{model}}^{\text{high}}$). Полная энергия системы в рамках неэмпирического метода ($E_{\text{real}}^{\text{high}}$) оценивается экстраполяцией по результатам трех независимых расчетов:

$$E_{\text{real}}^{\text{ONIOM}} = E_{\text{model}}^{\text{high}} + E_{\text{real}}^{\text{low}} - E_{\text{model}}^{\text{low}}$$

Расчеты на квантовом уровне проводили методом функционала плотности с использованием функционала PBE в базисе 6-31G(d,p). Расчеты на более низком уровне теории проводились с использованием метода Хартри-Фока в базисе STO-3G. Нами было проведено моделирование пространственной структуры молекулярных кластеров фосфорсодержащих молекул с различным числом молекул растворителя (ацетон). Расчеты констант магнитного экранирования ядер фосфора проводили с применением калибровочно-инвариантных атомных орбиталей (GIAO). Установлено, что выбор числа молекул растворителя, рассматриваемых в квантовой части модели, оказывает сильное влияние на результат моделирования, на геометрические характеристики структур и химические сдвиги. Полученные результаты были сравнены с данными, полученными нами в рамках методов молекулярной механики и теории функционала плотности DFT, а также с экспериментом.

Научный руководитель – д-р хим. наук, проф. Р. М. Аминова.

ВЛИЯНИЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ НА ГОРЕНИЕ НИТРАТНЫХ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ

И. С. Беспалов

Томский государственный университет

Одним из способов повышения скорости горения смесевых твердых топлив (СТТ) является введение в их состав различных каталитических добавок. Как правило, подбор таких добавок проводят, исходя из их влияния на термическое разложение окислителей топлив, т.к. последние составляют большую часть массы СТТ. Вторым по массовому содержанию является металлическое горючее, поэтому нельзя исключить возможность поиска эффективных добавок среди веществ, влияющих на ход реакции взаимодействия металлического горючего с продуктами распада менее термостойких составляющих СТТ.

Цель настоящей работы – исследование влияния добавки диоксида кремния на скорость горения и величину конденсированного остатка систем на основе нитрата аммония и активного органического горючесвязующего вещества.

В данной работе исследовались системы на основе нитрата аммония, активного органического горючесвязующего вещества, и смешанного металлического горючего. В качестве металлического горючего использовались смеси микронного (АСД-6) и ультрадисперсного (Алех) порошков алюминия, взятых в различных соотношениях. В качестве каталитической добавки использовался диоксид кремния. Выбор данной добавки обусловлен предположением о возможности ее влияния на снижение температуры начала разрушения оксидной пленки на частицах металла.

Эксперименты по измерению скорости горения проводили при атмосферном давлении в среде воздуха. Поджигание образцов производилось при помощи нихромовой спирали. Масса конденсированных продуктов сгорания определялась по массе шлаков, оставшихся на месте горения.

Результаты эксперимента показывают, что введение диоксида кремния способствует увеличению скорости горения систем во всем исследуемом интервале соотношений порошков металла в составе металлического горючего. Особенно сильно данная добавка проявляет себя на системах, содержащих в составе металлического горючего только ультрадисперсный порошок алюминия. Также введение данной добавки способствует уменьшению количества конденсированных продуктов сгорания.

Научный руководитель – канд. техн. наук Л. А. Савельева.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ ВИСМУТА ПРИ НУКЛЕАЦИИ ИЗ ПЕРЕСЫЩЕННОГО ПАРА

О. В. Боровкова

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

На сегодняшний день исследование термодинамических свойств наночастиц и механизм их образования представляют значительный фундаментальный и прикладной интерес (промышленность, токсикология, медицина и др.). Работа посвящена изучению механизма нуклеации наночастиц висмута.

Создана экспериментальная установка для исследования гомогенной нуклеации паров висмута из пересыщенного пара, представляющая собой горизонтальный ламинарный поточный реактор с внешним резистивным нагревом. Рабочий диапазон температур от 600 до 1300 К. Получены температурные профили внутри реактора. С использованием диффузионного спектрометра аэрозолей были измерены температурные зависимости концентрации и размера частиц аэрозоля, а также их морфология. Полученные частицы имеют размер от 7 до 70 нм, диапазон концентраций от 10^3 до 10^7 см⁻³, что было определено при помощи диффузионного спектрометра аэрозолей.

С использованием просвечивающей электронной микроскопии была подробно изучена морфология частиц, отобранных на выходе из реактора. Было обнаружено, что при температурах нагрева выше 800 °С частицы представляют собой агломераты с фрактальной размерностью 1,8, что согласуется с моделью диффузионно-лимитируемой агрегации кластер-кластер. Получены распределения по количеству и размеру первичных частиц в агрегате. Местоположение зоны нуклеации внутри трубы определялось экспериментально методом отсечки с использованием стальной сетки. Измерена скорость нуклеации, которая находится в диапазоне 10^{10} – 3×10^{11} при температуре нуклеации в области 700–820 К и пересыщении 1,5 – 3500.

Научный руководитель – д-р хим. наук А. А. Онищук.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БОГАТОГО ПЛАМЕНИ СМЕСИ ЭТИЛЕН/ЭТАНОЛ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

И. Е. Герасимов

Новосибирский государственный университет

Возможность снижения сажеобразования и выделения вредных соединений CO и NO_x в процессах горения путём добавления соединений кислородсодержащих углеводородов (оксигенатов) в исходную горючую смесь привлекло большое внимание к исследованию горения смесей углеводородов и оксигенатов. Одним из наиболее перспективных веществ в этом направлении является этанол, производимый сейчас в промышленных масштабах из биосырья.

В данной работе исследовался механизм влияния этанола на процессы формирования предшественников полиароматических углеводородов (ПАУ) и сажи путем экспериментального изучения структуры пламени предварительно перемешанной, стабилизированной на горелке, богатой ($\phi = 1,7$) смеси этилен/этанол/кислород/аргон и пламени чистого этилена при атмосферном давлении. Профили концентраций различных стабильных и лабильных веществ получены методом молекулярно-пучковой масс-спектрометрии и сопоставлены с результатами компьютерного моделирования с использованием детального механизма химических реакций. Моделирование структуры пламени проводилось в программе Premix из пакета Chemkin II с использованием комбинации двух механизмов: механизма горения этилена [1] и механизма окисления этанола [2].

Численно и экспериментально показано, что концентрация пропаргильного радикала, основного предшественника ПАУ, уменьшается в пламени смеси этилен/этанол по сравнению с пламенем чистого этилена, что демонстрирует эффект снижения сажеобразования при добавлении этанола. Анализ основных путей реакций, ведущих к образованию бензола, показал, что замена части этилена в исходной смеси этанолом ведёт к уменьшению расходования углерода на образование предшественников сажи в связи с наличием реакций превращения этанола, в результате которых получают вещества, впоследствии не участвующие в образовании ПАУ.

1. J. Appel, H. Bockhorn, M. Y. Frenklach, Combust. Flame 121 (2000) 122-136.

2. N.M. Marinov, Inter. J. of Chem. Kin, 31 (1998) 183-220.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ И ГОРЕНИЯ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА С ДОБАВЛЕНИЕМ ТРИФЕНИЛФОСФАТА

М. Б. Гончикжапов

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Изделия из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ, $MW > 1,5 \times 10^6$) обладают свойствами, востребованными при работе в экстремальных условиях эксплуатации. Известно, что добавление фосфорсодержащих соединений (ФОС) в полиэтилен с малым молекулярным весом снижает его горючесть. Существенное увеличение молекулярного веса полиэтилена может изменить термическую стабильность его смесей с добавлением ФОС.

Целью данного исследования является установление влияния добавок трифенилфосфата (ТФФ), являющегося представителем ФОС, на процесс газификации и горения СВМПЭ.

Методом зондовой молекулярно-пучковой масс-спектрометрии (МПС) было исследовано влияние ТФФ ($(C_6H_5O)_3PO$) на характер разложения СВМПЭ ($MW \sim 3 \times 10^6$) в условиях линейного нагрева. Эксперименты по термическому разложению в инертной атмосфере проводились в проточном реакторе. Навеска в виде смеси порошков (90% СВМПЭ + 10% ТФФ) помещалась в кювету, изготовленную из танталовой ленты, нагреваемой электрическим током. Навеска располагалась вблизи пробоотборного отверстия МПС комплекса. Температура нагревателя измерялась с помощью хромель-копелевой термопары, приваренной к кювете. Установлено, что добавка ТФФ влияет на температуру начала появления продуктов термического разложения СВМПЭ.

Горение образцов СВМПЭ+ТФФ диаметром 6 мм исследовалось в режиме диффузионного пламени в атмосфере воздуха при давлении 1 атм. Температура поверхности образцов (СВМПЭ, СВМПЭ+ТФФ) при воспламенении и в пламени измерялась с помощью платинородиевых термопар. Методом обработки видео изображения были измерены скорость сгорания чистого СВМПЭ и в смеси с ТФФ.

Полученные данные могут быть использованы для понимания механизма влияния ФОС на горючесть СВМПЭ.

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

ТЕОРИЯ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ

О. А. Горбунов

Институт химической кинетики и горения СО РАН

Новосибирский государственный университет

В последние годы чрезвычайно актуальной стала проблема влияния электронных спинов, локализованных на дефектах решетки, на пластические свойства кристаллов. При этом механизм влияния до настоящего времени остается не понятным до конца. Действительно, в магнитном поле $B_0 \sim 1$ Тл энергия, передаваемая парамагнитной частице, очень мала и составляет 1–0,1% от kT . При этом пластические и другие свойства кристаллов во внешнем магнитном поле, как показывают многочисленные эксперименты, могут меняться на 10–100 % [1]. Это объединяет данный класс эффектов с эффектами воздействия магнитного поля на протекание химических реакций, изучаемыми в спиновой химии.

В работах [2-3] предложены модели, позволяющие теоретически описать наблюдаемое изменение пластических свойств кристаллов в магнитном поле. Но предложенные способы описания не являются полными и требуют дальнейшего развития

Представляется целесообразным использовать подходы к решению задачи, аналогичные применяемым в спиновой химии для описания магнитных эффектов в химических процессах, заключающийся в решении уравнения Лиувилля для матрицы плотности радикальной пары, в качестве которой можно рассматривать систему «дислокация – парамагнитный стопор», с учетом анизотропного диполь-дипольного взаимодействия

$$\hat{H}_D = \hat{S}\hat{D}\hat{S} \cong D \hat{S}^2 - \hat{S}_z^2 + E \hat{S}_x^2 - \hat{S}_y^2 .$$

Последнее равенство справедливо в системе главных осей тензора диполь-дипольного взаимодействия.

По сравнению с химическими реакциями в растворах, движение в радикальной паре в кристаллах является достаточно медленным, и его достаточно рассматривать в рамках экспоненциальной модели [4].

-
1. Р. Б. Моргунов *УФН*, **174**, №2, 131-153 (2004).
 2. М. Molotskii, V. Fleurov, *Phys. Rev. Lett.*, **78**, 14, 2779-2782 (1997).
 3. Р. Б. Моргунов, А. Л. Бучаченко, *ЖЭТФ*, **136**, 3(9), 505-515 (2009).
 4. А. Л. Бучаченко, Р. З. Сагдеев, К. М. Салихов, *Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях*, Н., 1978.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. П. А. Пуртов

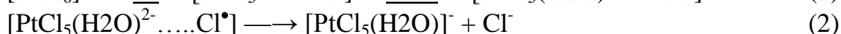
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОТОАКВАТАЦИИ КОМПЛЕКСА $[\text{PtCl}_6]^{2-}$

Э. С. Казанцева

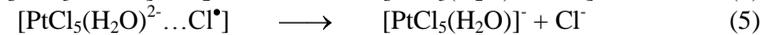
Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Комплексы двухвалентной платины широко используются в медицине благодаря противоопухолевой активности. Фотохимия открывает возможности эффективного синтеза таких соединений. Для поиска фотохимических процессов с высоким квантовым выходом необходимо исследование механизмов фотолиза модельных соединений платины.

В данной работе исследуется фотохимия водного раствора гексахлорида платины (IV). Реакция фотоакватации может протекать по двум различным механизмам, прямому и цепному. Прямой механизм может быть описан обратным переносом электрона на атом хлора в геминальной паре $[\text{PtCl}_5(\text{H}_2\text{O})^{2-} \dots \text{Cl}^\bullet]$, возникшей в первичном фотохимическом процессе



Цепной механизм фотоакватации включает окислительно-восстановительные стадии



В работе измерялся квантовый выход фотолиза комплекса $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ при возбуждении светом с длиной волны 254 нм в широком диапазоне концентраций. Обнаружено, что квантовый выход линейно зависит от концентрации исходного комплекса, при этом максимальное значение квантового выхода близко к 3. Эти факты однозначно свидетельствуют в пользу цепного механизма фотоакватации.

Работа поддержана РФФИ (грант № 08-03-00313).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Е. М. Глебов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАМЯГКОГО ДИАПАЗОНА С ПЛЕНКАМИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБ

М. А. Каныгин, А. Г. Куреня

Новосибирский государственный университет

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

Ориентированные углеродные нанотрубы (УНТ) – это уникальные объекты, способный проявлять анизотропию физических и химических свойств. В данной работе проводились исследования взаимодействия многослойных УНТ, ориентированных перпендикулярно подложке с рентгеновским излучением ультрамягкого диапазона. Были измерены рентгеновские СК-спектры поглощения и СК α спектры флуоресценции ориентированных многослойных УНТ. При изменении углов падения возбуждающего излучения и выхода излучения в спектрах наблюдаются изменения относительных интенсивностей π и σ компонент С-С связи. Данный эффект связан с проявлением пространственной ориентацией π и σ орбиталей. Сравнение результатов Фурье анализа СЭМ изображений боковой поверхности образцов и угловой зависимости рентгеновских спектров показало, что отношение π и σ компонент рентгеновских спектров определяется не только взаимной ориентацией нанотруб в пленке, но и упорядоченностью графитовых слоев в стенках многослойных УНТ.

Информация о взаимодействии рентгеновского излучения с нанотрубками была получена в ходе измерения угловой зависимости выхода рентгеновской флуоресценции. Было продемонстрировано влияние ориентации многослойных УНТ на форму кривой рассеяния излучения. Сравнение кривых рассеяния, полученных для исходных и механически разориентированных УНТ, позволило получить информацию о распределении нанотруб по направлениям. Сравнение экспериментальных данных с модельной кривой рассеяния рентгеновской флуоресценции, полученной в приближении учета поглощения излучения веществом, показало изменение коэффициентов поглощения для ориентированных и разориентированных УНТ. Рассмотрено влияние частиц металла-катализатора на форму кривой рассеяния рентгеновского излучения.

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

ДЕЙСТВИЕ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КРИСТАЛЛИЗОВАННЫЕ СМЕСИ ФУРАЗАНОТЕТРАЗИНДИОКСИДА И ДИНИТРОДИАЗАПЕНТАНА

А. А. Квасов

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Эндотермическое соединение 5,6-(3',4'-фуразано)-1,2,3,4-тетразин-1,3-диоксид ($C_2N_6O_3$, ФТДО) имеет энтальпию образования выше 1000 кал/г и поэтому представляет большой интерес в качестве перспективного высокоэнергетического материала. По чувствительности к механическим воздействиям оно находится на одном уровне с азидом свинца. Для снижения чувствительности производится совместная кристаллизация ФТДО с линейными нитраминами, в частности, с 2,4-динитро-2,4-диазапентаном ($C_3H_8N_4O_4$, ДНП).

В данной работе исследовано влияние мощных импульсов лазерного излучения на кристаллизованные смеси (КС). Использовались два типа лазеров: CO_2 -лазер (длина волны $\lambda = 10,6$ мкм, длительность импульса $\tau \sim 1$ мкс) и лазер на неодимовом стекле ($\lambda = 1064$ нм и 532 нм и, $\tau \sim 30$ нс).

В экспериментах на CO_2 -лазере найдены пороговые значения плотности потока излучения J , при которых происходит взрыв. Они зависят от состава и структурных свойств образца. Значения J для эвтектической смеси ФТДО/ДНП (65/35), кристаллизованной при температурах подложки -196 °С и 20 °С, равны 18 Дж/см² и 21 Дж/см². Инициировать взрыв молекулярного соединения, ФТДО/ДНП (49/51), не удалось, даже используя максимальную энергию импульса для данного лазера $J = 33$ Дж/см².

В экспериментах на неодимовом лазере были определены не только величины J , но и измерены времена задержки τ_0 между прохождением импульса излучения и началом взрыва. Обнаружена сильная зависимость критических параметров взрыва от состава КС. Для эвтектической смеси на длине волны 532 нм $J = 380$ мДж/см², $\tau_0 = 3-4$ мкс, для молекулярного соединения $J = 560$ мДж/см², $\tau_0 = 27$ мкс.

Полученные данные дают ключ к пониманию механизмов инициирования КС для различных типов взаимодействия излучения с веществом (тепловое – CO_2 -лазер; оптический пробой – неодимовый лазер) и основу для построения экспериментально обоснованной модели инициирования КС.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СМЕНЫ РЕЖИМА УПЛОТНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННОГО РЕАГИРУЮЩЕГО ПОРОШКОВОГО КОМПАКТА Zr-B

И. В. Кобраль, Л. М. Утенкова
Томский государственный университет

Спецификой поведения экзотермически реагирующего порошкового материала Zr-B является возможность потери несущей способности твердого каркаса и последующего уплотнения порошкового компакта в режиме вязкого деформирования суспензии твердых частиц в расплаве без пластического деформирования всего объема материала частиц. Это возможно уже на первых этапах динамического уплотнения из-за близости температур плавления циркония и бора. Так как повышение реакционной способности смеси определяется пластическим деформированием кристаллической структуры и разрушением окисных и адсорбированных слоев порошковых частиц, то уплотнение порошкового компакта за счет вязкого течения без пластического деформирования всего объема материала частиц может не привести к достаточной механической активации реагирующих компонентов, необходимой для запуска химических превращений во всем объеме порошкового компакта.

Методами компьютерного моделирования исследуется возможность смены режима уплотнения с пластических деформаций частиц на вязкопластические и в дальнейшем на вязкое деформирование суспензии твердых частиц. Считается, что в начальный момент времени вся диссипированная энергия ударного импульса приходится на работу по пластическому затеканию пор. В дальнейшем в результате запуска экзотермических химических превращений на поверхности частиц ожидается появление жидкого слоя на поверхности частиц, и часть диссипированной энергии ударного импульса расходуется на вязкое затекание пор. Рассмотрена порошковая смесь $Zr+B+10 \text{ мас. \% } ZrB_2$, стехиометричная для образования диборида циркония, с размером частиц $d_0 = 35 \text{ мкм}$, предварительно спрессованная до достижения удельного объема пор $\Pi_0 = 0,3$, нагруженная ударным импульсом с амплитудой $P_f = 9 \text{ ГПа}$ при начальной температуре 298 К, 800 К.

Результаты компьютерного моделирования показали, что смена режимов уплотнения в различных микрообъемах порошковой среды реализуется последовательно: пластический, вязкопластический и вязкий. Повышение начальной температуры образца до 800 К приводит к существенному уменьшению доли диссипированной энергии ударного импульса, идущей на реализацию вязкого механизма уплотнения.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЫ ПРИ ГОМОГЕННОЙ НУКЛЕАЦИИ ПЕРЕСЫЩЕННОГО ПАРА

А. Ю. Комаровских, С. В. Валиулин
Институт химической кинетики и горения СО РАН,
Новосибирский государственный университет

Сера является уникальным элементом по сложности состава в различных фазовых состояниях. Известно, что её пары состоят из молекул различного состава (S_2 – S_{20}), размер и концентрационное соотношение которых определяется температурой и давлением. Другим интересным аспектом является наличие λ перехода в жидкой фазе, при температуре 432 К, при котором отчётливо меняются многие параметры жидкости (вязкость, поверхностное натяжение, плотность). Эти свойства делают серу интереснейшим веществом для экспериментального исследования её нуклеации.

В настоящей работе было исследовано образование наночастиц серы в горизонтальном проточном термоконденсационном реакторе в процессе гомогенной нуклеации из пересыщенного пара.

Счётную концентрацию и распределения по размерам аэрозоля на выходе из реактора измеряли тремя методами: диффузионным спектрометром аэрозоля ДСА, фотоэлектрическим счётчиком аэрозольных частиц АЗ-10, просвечивающим электронным микроскопом JEM–100SX. Морфологию наночастиц определяли с помощью просвечивающего электронного микроскопа, отбор образцов для которого проводили с помощью вакуумного пробоотборника. Для экспериментального определения положения зоны нуклеации в реакторе применяли методику отсечки пересыщения. Для визуализации процесса была использована методика светорассеяния на аэрозольных частицах лазерного луча, направленного вдоль оси трубки реактора.

В результате были определены: профили температуры и концентрации паров, скорость конденсации пара на внутреннюю поверхность, эволюция спектра размеров наночастиц, местоположение зоны зародышеобразования в зависимости от координаты вдоль реактора. Определена скорость нуклеации как функция пересыщения и температуры.

Разработана модель процесса аэрозолеобразования, которая учитывает: конденсацию пара на внутренней поверхности реактора и на аэрозольных частицах, гомогенную нуклеацию пара в объёме.

Научные руководители – д-р хим. наук А. А. Онищук,
канд. физ.-мат. наук В. В. Карасёв.

РАЗМЕРНЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ РАСТВОРЕНИИ УГЛЕРОДА И ВОДОРОДА В НАНОЧАСТИЦАХ ПАЛЛАДИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ

М. М. Красильников
Новосибирский государственный университет
Институт катализа им. Г.К. Борескова

Наличие растворенных форм углерода и водорода оказывает существенное влияние на селективность палладиевых катализаторов в реакциях гидрирования ненасыщенных углеводородов [1]. Поскольку перспективы развития катализа связаны с использованием активного компонента в форме наноразмерных металлических частиц, особый интерес представляет исследование воздействия размерного фактора на каталитическую активность. Известно, что при уменьшении размеров частицы происходит в силу поверхностного напряжения уменьшение среднего межатомного расстояния, что оказывает влияние на адсорбционные свойства наночастиц [2].

В представленной работе методом функционала плотности проведены квантово-химические расчеты термодинамических характеристик примесей С и Н, локализованных в подповерхностной области и в объеме наночастиц Pd. В качестве моделей наноразмерных каталитических частиц использованы октаэдрические кластеры, насыщающие от нескольких десятков до нескольких сотен атомов Pd. Показано, что уменьшение межатомных расстояний при уменьшении размера частиц существенно снижает стабильность растворенных форм углерода. Напротив, аналогичный эффект в случае водорода сравнительно невелик. На основании расчетов получены соотношения для термодинамических характеристик растворенного углерода и водорода в зависимости от размера кластеров Pd.

1. Teschner D., Borsodi J., Wootsch A., Révay Z., Hävecker M., Knop-Gericke A., Jackson S. D., Schlögl R., The roles of subsurface carbon and hydrogen in palladium-catalyzed alkyne hydrogenation. *Science*, 2008, 320, 86.

2. Yudanov I.V., Metzner M., Genest A., Rösch N. Size-dependence of adsorption properties of metal nanoparticles: A density functional study on Pd nanoclusters. *J. Phys. Chem. C*, 2008, 112, 20269.

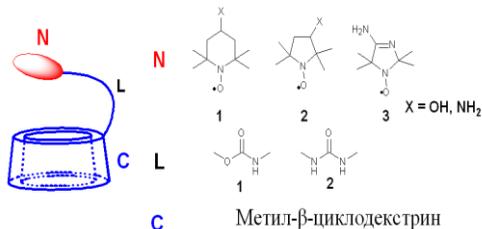
Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. В. Юданов.

ПРИМЕНЕНИЕ НИТРОКСИЛЬНЫХ РАДИКАЛОВ, КОВАЛЕНТНО-СВЯЗАННЫХ С ЦИКЛОДЕКСТРИНОМ, ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ТУШЕНИЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ

О. А. Крумкачева

Новосибирский государственный университет
Международный томографический центр СО РАН

Одной из основных проблем во флуоресцентной спектроскопии является перекрывание сигналов от различных молекул, что затрудняет анализ результатов. Одним из способов решения данной



проблемы является применение селективных тушителей флуоресценции, позволяющих увеличить контраст в спектрах. В данной работе исследовались свойства тушителей флуоресценции, основанных на комплексах нитроксильных радикалов, ковалентно-связанных с циклодекстрином.

Структура комплексов определялась методами ЯМР, стационарного и импульсного ЭПР. Используя 1-адамантанол в качестве молекулы-конкурента, было показано, что во всех исследуемых структурах нитроксильный радикал прикрывает полость циклодекстрина.

Эффективность тушения флуоресценции исследовалась на примере модельной молекулы метиловый оранжевый, спектр флуоресценции которой состоит из двух полос эмиссии. Были проведены исследования методами лазерного импульсного фотолиза и время-разрешенной флуоресцентной спектроскопии, и впервые показано, что двухполосная структура спектра формируется в результате наложения спектров флуоресценции от цис- и транс- изомеров метилового оранжевого. Было показано, что при образовании комплекса с ЦД происходит рост интенсивности и сдвиг максимумов сигнала флуоресценции метилового оранжевого. В работе обсуждаются возможные объяснения данного эффекта.

Методом время-разрешенной флуоресцентной спектроскопии было показано, что сочетание свойств циклодекстрина и нитроксильного радикала позволяет получить селективный и эффективный агент для тушения флуоресценции.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Е. Г. Багрянская.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ДЕЛОКАЛИЗАЦИИ СПИНОВОЙ ПЛОТНОСТИ В НИТРОКСИЛЬНЫХ РАДИКАЛАХ

И. С. Лысков

Новосибирский государственный университет
Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН

Исследование механизма делокализации спиновой плотности в органических радикалах важно для объяснения сверхтонкой структуры ЭПР на парамагнитных ядрах. В качестве теоретического средства описания этого явления в работе использованы квантово-химические методы.

В качестве исследуемых систем были выбраны нитроксильные радикалы *N*-(4-метилбензил)-3,5-динитро-*N*-оксобензоламин и 3,5-динитро-*N*-оксо-*N*-(2,3,4,5,6-пентаметилбензил)бензоламин, поскольку ароматические нитросоединения являются хорошими электронными акцепторами, и их легко превратить в радикалы. Синтез радикалов проводился путем фотовозбуждения в лаборатории квантовой химии в группе А. М. Володина.

Исследуемые радикалы смоделированы в рамках спин-поляризованной теории функционала плотности (*DFT*) с использованием функционала *b3LYP* в базе *6-31g**. Рассмотрено влияние геометрии соединений на их полную энергию и константы СТВ. При сканировании торсионного угла полученных структур обнаружены несколько стабильных состояний, между которыми осуществлялись конформационные переходы. Распределение спиновой плотности по ароматическому кольцу тринитробензола имеет характер волны (*Spin Density Wave*).

Рассматриваются два основных вида передачи спиновой плотности с одного ядра на другой. Первый из них связан с более благоприятным обменным взаимодействием π электрона с σ электронами. Это взаимодействие поляризует спиновую плотность на соседнем ядре. Другой вид связан со сверхсопряжением, а не с обменными эффектами, и может быть объяснен в рамках теории молекулярных орбиталей. В исследуемых системах наблюдались сразу два вида передачи спиновой плотности, поэтому особое внимание уделено появлению ненулевой спиновой плотности на протонах метиленовой группы. В ходе работы воспроизведены экспериментальные константы СТВ на парамагнитных центрах. Получено качественное объяснение изменения констант протонов метиленовой группы в зависимости от взаимной ориентации ароматических колец.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. Л. Зильберберг.

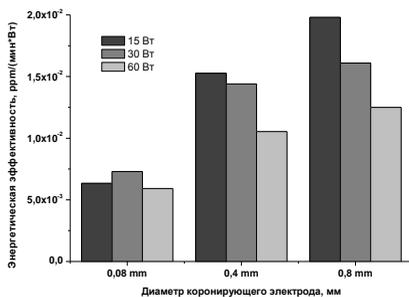
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА КОРОННЫМ РАЗРЯДОМ

М. Н. Люлюкин

Новосибирский государственный университет
Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН

Последнее время всё больше внимания уделяется очистке окружающей среды, в том числе и воздуха, от вредных примесей. Одной из главных задач в процессе разработки систем очистки воздуха является повышение энергетической эффективности. Коронный разряд уже долгое время применяется для очистки воздуха от органических примесей [1], однако проводимые ранее исследования не затрагивали зависимость скорости и эффективности очистки воздуха от диаметра коронирующего электрода.

В работе рассматривается зависимость скорости снижения концентрации загрязнителя (ацетона и ацетальдегида) в герметичной камере при пропускании воздушной смеси через область коронного разряда. Секция коронного разряда построена по классической схеме с коронирующими проволочками, размещёнными между параллельными пластинами. Была проведена серия экспериментов с электродами диаметром 0,08, 0,4 и 0,8 мм, где для каждого диаметра мощность коронного разряда составляла 15, 30 и 60 Вт.



Проведены анализ и сравнение ВАХ разряда в используемой и цилиндрической геометрии, показано соответствие хода кривых этих разрядов.

Установлено, что наибольшая энергетическая эффективность в рассматриваемой геометрии достигается при увеличении диаметра коронирующего электрода.

На основе результатов классической работы [2] по исследованию коронного разряда построена модель, описывающая энергетическую эффективность в зависимости от диаметра коронирующего электрода.

1. Nonthermal Plasma Processing for Air-Pollution Control, Н.-Н. Kim, *Plasma Processes Polym.*, vol. 1, pp. 91-110, 2004.
2. The Current-Voltage Relation In The Corona, С. S. Fazel, S. R. Parsons, *Phys. Rev.* 23, pp. 598-607, 1924.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ (001) GaAs МЕТОДОМ ДИФРАКЦИИ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ЭПИТАКСИАЛЬНОМ РОСТЕ ИЗ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПУЧКОВ

А. А. Лямкина

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

Для получения квантовых точек с заданными параметрами (плотность, размеры) в капельной эпитаксии важно контролировать количество центров зародышеобразования на исходной поверхности. Обычно для роста используется поверхность с реконструкцией $\beta(2 \times 4)$, но в процессе нанесения материала происходят изменения поверхности, связанные со встраиванием новых атомов в подложку. Встраивание зависит от большого количества параметров – температуры, скорости нанесения, фонового давления As и т. д. Таким образом, формирование квантовых точек происходит на отличной от исходной поверхности, структуру которой желательно знать и контролировать. Целью данной работы является исследование начальной стадии роста и механизмов зародышеобразования и релаксации в гомоэпитаксии на поверхности (001) GaAs.

Для изучения кинетики релаксации поверхности исследовалась эволюция интенсивности дробного дифракционного рефлекса ($0 \frac{1}{4}$) от кристаллического арсенида галлия в дифракции быстрых электронов на отражение. На исходную поверхность с реконструкцией $\beta(2 \times 4)$ при различных температурах наносилось заданное количество GaAs (скорость нанесения $v = 0,03$ монослоя в секунду). При этом интенсивность сигнала сначала увеличивается при встраивании атомов Ga в $\beta(2 \times 4)$, потом падает (образование нестабильной промежуточной фазы), и затем возрастает до некоторого значения со скоростью, определяемой релаксацией поверхности к исходной реконструкции. Для каждой дозы проводилась серия экспериментов с различными температурами подложки (от 550 до 570 °C). Кинетические кривые были обработаны аппроксимацией экспонентой вида $y = y_0 + A \exp(-(x - x_0)\tau)$. Это позволило определить характерное время релаксации в зависимости от температуры. Построив полученную зависимость в Аррениусовских координатах, можно оценить энергию активации, которая в нашем случае составила 1,84 эВ.

На основании сравнения полученных результатов с характерными энергиями связей и взаимодействия в системе обсуждается модель зародышеобразования в гомоэпитаксии арсенида галлия.

Научные руководители – д-р хим. наук Ю. Г. Галицын, С. П. Мощенко.

СИНТЕЗ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ НАНО-ПЛЁНОК TiO_2 В ПЛАМЕНИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ПЕРЕМЕШАННОЙ ГОРЮЧЕЙ СМЕСИ

Р. А. Максютов

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Наноплёнки частиц оксида тантала (окись титана, TiO_2) имеют множество применений, в том числе они используются в светочувствительных элементах (dye sensitized solar cells, DSSC) [1, 2] и газовых анализаторах.

В данной работе предложен новый метод получения нанокристаллических плёнок TiO_2 в один этап. Целью настоящей работы является получение пористых нанокристаллических плёнок TiO_2 в один этап и изучение их свойств. Также целью работы является изучение механизма образования нанопленок на основе исследования структуры пламени, экспериментально и при численном моделировании. Для получения пленок TiO_2 будет использована установка, представляющая собой вращающийся диск с подложкой и горелку. Диск служит стабилизатором пламени за счет торможения потока продуктов горения о его поверхность. Конвекционное охлаждение обратной стороны диска обеспечивает поддержание его температуры ниже температуры пламени и позволяет реализовываться процессу образования плёнки на подложке за счет термофореза.

Была проведена серия экспериментов по измерению скорости распространения водород-кислородного пламени различного состава (варьировался коэффициент избытка горючего от 0,7 до 5) с добавкой TiCl_4 . Также из трех пламен ($\phi = 0,9, 1,1, 3$) были осаждены пленки TiO_2 и изучена их структура, оптические и морфологические свойства.

1. В. O'Regan, M. Graëtzel, Nature 353 (1991) 737–740.

2. M. Graëtzel, Nature 414 (2001) 338–344.

Научные руководители – д-р. физ.-мат. наук, проф. О. П. Коробейничев,
канд. хим. наук А. Г. Шамаков.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ТРЕТ-БУТИЛОВОГО СПИРТА, АДсорБИРОВАННОГО НА СИЛИКАЛИТ, МЕТОДОМ ЯМР СПЕКТРОСКОПИИ НА ЯДРАХ ДЕЙТЕРИЯ

А. М. Нищенко

Новосибирский государственный университет
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

Работа посвящена исследованию динамики ТБС (трет-бутилового спирта), адсорбированного на силикалит, методом ^2H ЯМР спектроскопии твердого тела. Выбор тематики работы обусловлен интересом к реакции каталитического превращения ТБС и метанола в метил трет-бутил эфир, протекающей на внутренней поверхности пор цеолита ZSM-5. В связи с тем, что размеры молекулы сравнимы с размерами пор, стенки каналов посредством Ван-дер-ваальсовых взаимодействий определяют механизм движения молекулы ТБС внутри пор цеолита. Механизм движения ТБС внутри каналов цеолита сильно отличается от поведения в свободном состоянии и на данный момент остается мало изученным.

При адсорбции ТБС на кислую форму цеолита ZSM-5 инициируется реакция дегидратации, что маскирует механизм движения молекулы [1]. Поэтому в данной работе вместо кислой формы ZSM-5 использовался химически нейтральный аналог – силикалит.

Для определения динамики молекулы используется ^2H ЯМР спектроскопия [2]. Метод ^2H ЯМР спектроскопии позволяет получить информацию о диффузии молекул и о внутримолекулярных движениях [2, 3]. 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 [3].

В данной работе представлена зависимость формы линии спектров от ядер дейтерия метильных групп и гидроксильной группы ТБС, адсорбированного на силикалит, в температурном диапазоне от 113 до 413 К. Методами компьютерного моделирования была определена модель динамики молекулы внутри пор цеолита.

1. A.G. Stepanov, A.G. Maryasov, V.N. Romannikov, and K.I. Zamaraev // *Mag. Res. in Chem.*, 32, 16-23 (1994).

2. P. Diehel, E. Fluck, R. Kosfeld, *Dynamic NMR Spectroscopy* (1978).

3. D. A. Torchia, Attila Szabo “Spin-lattice relaxation in solids”// *J. of Mag. Res.* 49, 107-121 (1982).

Научный руководитель – д-р хим. наук, доцент А. Г. Степанов.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ pH-СРЕДЫ НА РАДИКАЛЬНУЮ ПОЛИМЕРИЗАЦИЮ, КОНТРОЛИРУЕМУЮ НИТРОКСИЛЬНЫМИ РАДИКАЛАМИ

Д. А. Пархоменко

Новосибирский государственный университет
Международный томографический центр СО РАН

Радикальная полимеризация, контролируемая нитроксильными радикалами (ПКНР), является одним из перспективных методов получения высококачественных полимеров и позволяет синтезировать полимеры с заданными свойствами и мобильными концевыми группами, позволяющими реинициирование полимерной цепи [1]. Ключевыми реакциями ПКНР является диссоциация макроалкоксиамина с константой скорости k_d , реакция продолжения цепи, реакция рекомбинации радикалов цепи с нитроксильными радикалами с константой скорости k_c . Условиями успешного протекания ПКНР являются оптимальные значения констант скорости обратимой диссоциации алкоксиаминов и отсутствие побочных реакций необратимого обрыва цепи. Недавно был предложен новый подход к контролируемому синтезу полимеров методом RAFT путем проведения полимеризации в средах с различным значением pH и с использованием медиаторов полимеризации, имеющих протонируемые группы.

В настоящей работе такой подход впервые применен для синтеза водорастворимых полимером методом ПКНР с использованием нитроксильных радикалов имидазолинового и имидазолидинового ряда в качестве медиатором полимеризации. Эти радикалы являются pH-чувствительными, то есть имеют протонируемые группы. В работе было изучено влияние pH-среды на константы скорости k_d , k_c . Для измерения констант скоростей k_d , k_c были применены методы лазерного импульсного фотолиза и методы ЭПР и ЯМР. Было обнаружено, что изменение pH среды от 9 до 2 приводит к изменению значения k_d более чем на порядок. В то же время k_c практически меняется очень слабо. На примере синтеза гидрофильных полимеров акриловой кислоты и 4-стиролсульфоната натрия показано, что путем изменения pH среды можно существенно менять как скорость полимеризации, так и характеристики синтезируемых мономеров (молекулярный вес и полидисперсность).

Работа поддержана грантом ОХМН-5.1.1. и Федерального агентства по образованию (Государственный контракт № 1144).

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. Е. Г. Багрянская, аспирант М. В. Еделева.

ИЗУЧЕНИЕ ТРИПЛЕТНОГО СОСТОЯНИЯ ${}^3C_{70}$ МЕТОДАМИ СТАЦИОНАРНОГО И ИМПУЛЬСНОГО ЭПР

Т. И. Пичугина

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Фуллерен C_{70} с высоким квантовым выходом возбуждается видимым светом в триплетное состояние. Небольшая величина сродства к электрону делает возможным использовать фуллерены в качестве акцепторов электрона и делать на их основе фотоэлектрические преобразователи. В случае отсутствия доноров электронов вблизи фуллерена он переходит при фотовозбуждении в триплетное состояние с квантовым выходом, близким к единице[1].

В работе были получены эхо-детектируемые (ЭД) ЭПР спектры ${}^3C_{70}$ в стеклообразных растворителях, таких как орто-терфениле и декалине. В эксперименте на образец подавалась двухимпульсная последовательность $\pi/2 - \tau - \pi - \tau$, при температурах в пределах $5 \div 120$ К под непрерывным светом лампы накаливания. При температурах ниже 30 К в высокопольной области спектра проявлялся участок эмиссии. Это объясняется тем, что время спин-решёточной релаксации ${}^3C_{70}$ становится сравнимо с временем жизни триплетного состояния, которое неравновесно заселяется при фотовозбуждении. При высоких температурах наблюдался спектр, похожий на пейковский дублет с почти равновесной поляризацией соседних спиновых подуровней.

В спектрах ЭД ЭПР возбужденного триплетного состояния фуллерена ${}^3C_{70}$ в центре спектра наблюдается провал, который не описывается в приближении, что в трехуровневой системе переходы между триплетными подуровнями возбуждаются по отдельности. В точном расчете с использованием матрицы плотности триплетного состояния эта особенность воспроизводится. Таким образом, более простая модель двухуровневой системы неприемлема в случае моделирования середины спектров триплетного состояния в ЭД ЭПР экспериментах.

1. Uvarov M. N., Kulik L. V., Dzuba S. A, *J. Chem. Phys.*, 2009, 131, 144501.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Л. В. Кулик.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АБСОРБЦИИ ЛИТИЯ В АМОРФНОМ КРЕМНИИ

З. И. Попов, Д. А. Федоров
Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Развитие литий-ионных аккумуляторов в настоящее время является одной из самых актуальных задач в области мобильных источников энергии. Основным материалом анодов в таких батареях является графит, однако теоретическая емкость для батарей с кристаллическим кремниевым анодом составляет величину в 10 раз большую [1]. При этом огромное увеличение объема кристаллической решетки кремния при интеркалировании его литием (~ 300 %) ведет к быстрой деградации материала. Одной из возможностей обойти данную проблему является использование кремниевых наноструктур, покрытых аморфным кремнием. Недавно [2] было показано, что экспериментальные образцы с использованием кремниевых наночастиц уже обладают в ~ 3 раза большими абсорбционными свойствами по сравнению с лучшими углеродными наноматериалами и позволяют добиться малой деградации материала при значительном количестве циклов зарядки – разрядки.

При помощи DFT расчетов с использованием псевдопотенциалов Вандербиля (программа VASP 4.6) было проведено моделирование структуры аморфного кремния, а также аморфного кремния с различным содержанием лития. Была построена радиальная функция распределения. Показано, что литий может абсорбироваться вплоть до концентрации, соответствующей структуре $\text{Si}_4\text{Li}_{15}$. Построена зависимость хим. потенциала атомов лития от их концентрации в аморфном кремнии и обнаружено, что она ведет себя монотонно, но нелинейно, с особенностью, соответствующей стехиометрическому составу SiLi_3 .

Разработан метод, который позволяет рассчитывать коэффициент диффузии для неперриодических систем на основе использования интерполяции высот барьеров в периодических структурах аналогичного состава, подвергаемых различным видам продольной и сдвиговой деформации.

Результаты данной работы позволят помочь в понимании процесса абсорбирования лития аморфным кремнием, что является важным для создания энергоемких аккумуляторов.

-
1. U. Kasavajjula, C.S. Wang, et al, J. Power Sources, 163, 1003 (2007).
 2. Li-Feng Cui, R. Ruffo, C.K. Chan, et al, NanoLetters , 9(1), 491 (2009).

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

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ВОДО-ТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

В. М. Пшеницын

Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск

В настоящее время большое внимание уделяется способам интенсификации и повышению КПД процесса горения топлива. Одним из таких способов является добавление в жидкое топливо воды с последующим получением водо-топливных эмульсий. Из-за разности температур кипения водяные пузырьки взрываются и распыляют топливо на мелкие капли, что улучшает процесс горения и увеличивает полноту сгорания топлива. Кроме того, в процессе ультразвуковой обработки в кавитационных полостях происходит ионизация и последующее расщепление молекул воды с образованием радикалов (ОН, HO_2 , Н), обладающих большим окисляющим или восстанавливающим действием. Процессы окисления в поле УЗ волн усиливаются также за счет ионизации и диссоциации молекул кислорода, растворенного в обрабатываемой смеси. Образовавшиеся свободные радикалы в момент схлопывания кавитационных пузырьков могут привести к характерным реакциям распада углеводородов, а также вызвать цепные реакции и приводят к деструкции углеводородов, чем и объясняется интенсификация процесса горения.

Нами были проведены опыты по исследованию смеси дизельного топлива (ДТ) с водой. Для получения эмульсий применялась магнитострикционная (МС) обработка этих смесей с помощью лабораторной ультразвуковой (УЗ) установки ИЛ 100 6/4. Выходная мощность установки составляет около 2 кВт. При этом МС воздействие, с частотой 23 кГц, на приготовленную смесь продолжалось в течении 20 минут. Для уменьшения нагрева обрабатываемая смесь и МС преобразователь охлаждались водой. Опыты проводились со смесями разных пропорций воды и ДТ. Содержание ДТ составляло 1,5, 5 и 9% от объема смеси. Результаты опытов показали, что эмульсия с 5% содержанием ДТ легко воспламеняется и стабильно горит. Эмульсия с 9% содержанием ДТ расслаивалась в течение нескольких минут. Для получения устойчивых эмульсий с содержанием ДТ 9% и выше необходимо применять эмульгаторы.

Анализ хроматограмм, полученных после кавитационной обработки чистого ДТ в тех же режимах, показывает, что ДТ является смесью, состоящей из различных углеводородов, и в процессе обработки его химический состав не изменяется, что подтверждает изложенную выше схему воздействия ультразвука на водо-топливную смесь.

Данная работа проведена при поддержке РФФИ № 07-08-00195а.

Научные руководители – д-р техн. наук, проф. В. А. Мухин, канд. физ.-мат. наук Н. В. Малых.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР ЭЛЕКТРОЛИТ – ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ

А. Г. Рябищенкова

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского

Развитие микроэлектроники, материаловедения и физики твердого тела привело к созданию нового направления в разработке датчиков – созданию химических сенсоров [1]. Эти сенсоры применяются для обнаружения различных ионов или сложнейших биологических макромолекул в жидких средах и для мониторинга газов. Перспективным является использование в химических сенсорах структур полупроводник-электролит. Граница раздела полупроводник-электролит является сложной системой ввиду различного характера проводимости (электронного и ионного) и различных агрегатных состояний контактирующих на этой границе компонентов. Применение пористого кремния в качестве рабочего элемента в таких структурах вносит дополнительную специфику в физические и физико-химические свойства межфазной границы.

В данной работе проведены исследования электрофизических и газочувствительных свойств структуры электролит-пористый кремний. Для решения поставленной задачи сформированы слои пористого кремния на подложках монокристаллического кремния. Структуры Si/Por-Si получены при анодной электрохимической обработке монокристаллического кремния в электролите на основе плавиковой кислоты. Данные структуры покрывались изолирующим слоем позитивного фоторезиста ФП-75 со стороны пористого кремния. При этом открытой оставалась рабочая зона, контактирующая с электролитом. Далее на готовую структуру наносился электролит $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$. В результате были получены три типа тестовых структур: Au/ $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ /Si, Au/ $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ /Por-Si/Si, Ni/ $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ /Por-Si/Si. Исследованы вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики данных структур. Также проведены исследования газовой чувствительности вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик структур $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ /por-Si к концентрации аммиака. Сравнение ВАХ для структур кремний – электролит и пористый кремний – электролит показало, что структуры на монокристаллическом кремнии имеют большие начальные значения токов при прямом смещении. Обнаружена чувствительность ВАХ структуры пористый кремний – электролит при прямом смещении к парам аммиака.

1. Каттралл Роберт В. Химические сенсоры. – М.: Научный мир, 2000.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент А. Г. Козлов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ТРИМЕТИЛАМИНБОРАНА

М. В. Сафронов

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Для базовых технологий устройств памяти нового поколения разрабатываются новые процессы получения диэлектриков на основе пленок карбонитридов бора BC_xN_y методом химического осаждения из газовой фазы (CVD-процессы) с использованием соединений триметиламинборана (ТМАБ) [1]. Для нахождения условий осаждения продуктов разложения из газовых смесей ТМАБ и азота проводились термодинамические расчеты, однако не были определены кинетика химических реакций и возможные предшественники процесса роста пленок [2].

Разложение ТМАБ исследовалось в потоке азота в проточном реакторе. Анализ кинетики разложения триметиламинборана осуществлялся методом молекулярно-пучковой масс-спектрометрии (МППМС) с помощью квадрупольного масс-спектрометра. Детально были изучены кинетика и механизм реакций распада ТМАБ в диапазоне температур от 200 до 700 градусов Цельсия. Определено, что первой стадией разложения является отщепление BH_3 с образованием триметиламина $(CH_3)_3N$. Триметиламин в свою очередь разлагается с образованием диметиламина $(CH_3)_2N$, монометидамина CH_3N и метана CH_4 . Свыше 600 градусов Цельсия метиламины полностью разлагаются с образованием возможных прекурсоров. Измерена скорость реакции разложения ТМАБ и энергия активации.

1. Ф. А. Кузнецов, Т. П. Смирнова, И. К. Игуменови и др. (Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН) В. Г. Кеслер, В. В. Кириенко (Институт физики полупроводников СО РАН). Материалы и базовые технологии электронных устройств следующих поколений: диэлектрические слои. Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники, 2007. ISSN1609-3597 Том 4, с. 54-62.

2. А. Н. Голубенко, М. Л. Косинова, А. А. Титов, Ф. А. Кузнецов. Термодинамическое моделирование процесса осаждения BC_xN_y из газовой фазы в системе В-С-N-H. Неорганические материалы, 2003, том 39, №4, с. 443-446.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НУКЛЕОФИЛЬНОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ ХАЛЬКОГЕН–АЗОТНЫХ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ К ТИОФЕНОЛЯТ–АНИОНУ

Е. А. Сутурина

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

В последнее десятилетие в области молекулярного магнетизма достигнут значительный прогресс, однако получение и исследование новых молекулярных магнетиков остается очень актуальной задачей [1]. Для синтеза магнитоактивных халькоген-азотных анион-радикальных (АР) солей часто используется восстановление гетероциклических соединений до соответствующих анион–радикалов (АР) тиофенолят анионом (ТА) [2]. Недавно в ходе реакции 3,4-дициано-1,2,5-селенадиазола с ТА было обнаружено никогда прежде не наблюдавшееся нуклеофильное присоединение гетероцикла к ТА, восстановления гетероцикла при этом не происходило. Получившийся аддукт был выделен в виде соли с краун-эфиром катиона калия, и его структура установлена методом РСА.

Цель данной работы – определение природы необычной S-Se связи в аддуктах и установление связи механизма реакции ТА с халькоген-азотными гетероциклами с их химической структурой. Проведенные нами расчеты методом теории функционала плотности позволили оптимизировать структуру аддукта, которая оказалась близка к экспериментальной. Проведены также расчеты ИК и УФ спектров поглощения аддукта, которые также хорошо согласуются с экспериментом. С использованием методов квантовой химии, в том числе алгоритм Бэйдера [3], охарактеризована электронная структура аддукта. Проведены также расчеты термодинамики процессов переноса электрона и образования аддукта и оценены константы скоростей этих процессов.

1. Coronado E., Gatteschi, D. Trends and challenges in molecular-based magnetic materials, *J. Mater. Chem.* – 2006. – V. 16. – P. 2513-2515.

2. Konchenko S.N., Gritsan N.P., Lonchakov A.V., Radius U., Zibarev A.V. First isolation of 2,1,3-benzothiadiazolidyl radical anion: X-ray structure and some properties of a $[K(THF)][C_6H_4N_2S]$ salt, *Mendeleev Commun.* – 2009. – V. 19. – P. 7-9.

3. G. Henkelman, A. Arnaldsson, H. Jonsson, A fast and robust algorithm for Bader decomposition of charge density, *Computational Materials Science* 36 (2006) 354–360

Научный руководитель – д-р хим. наук, проф. Н. П. Грицан.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХОЛЕСТЕРИНА НА ПОДВИЖНОСТЬ СПИН-МЕЧЕННЫХ ЛИПИДОВ В МОДЕЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕМБРАНАХ

В. Н. Сырямина

Новосибирский государственный университет
Институт химической кинетики и горения СО РАН

Холестерин и его производные являются важными составляющими клеточных мембран. Известно, что они меняют различные их свойства. Однако, несмотря на многочисленные работы, до сих пор точно не известны функциональные и структурные изменения мембран, вызванные холестерином.

Информация о типах движения внутри модельной биологической мембраны напрямую связана с ее функциональностью. Исследования при низких температурах важны для нахождения движений с низкими энергетическими барьерами и определения оптимальных условий для замораживания живых тканей. Целью настоящей работы является изучение влияния холестерина на подвижность спин-меченых липидов в модельных биологических мембранах при криогенных температурах.

Для изучения динамики был использован метод стимулированного электронного спинового эха, который позволяет фиксировать сверхмалоамплитудные движения порядка $0,1^\circ$ – 1° и разделять вклады от быстрых ограниченных движений с временами корреляции $\tau_c < 10^{-6}$ с и медленных движений с $\tau_c \sim 10^{-6}$ – 10^{-5} с.

В данной работе использовался метод получения многослойных везикул в водном растворе. Были приготовлены 2 вида образцов: раствор чистого липида ПОФХ (1-пальмитоил-2-олеоил-фосфотидилхолин) и раствор липида ПОФХ с холестерином в молярном отношении 1:1. В качестве спиновых зондов использовались фосфолипиды, меченые в полярной головке, 5-ом и 16-ом положении алкильной цепи, молярное отношение спиновых зондов к молекулам матрицы составляло 1:100.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что холестерин в мембране увеличивает амплитуды быстрых ограниченных движений. Этот эффект может быть связан с упорядочивающим действием холестерина. Присутствие холестерина в мембране подавляет медленные движения вблизи метки в полярной головке и в 5-ом положении и увеличивает амплитуды медленных движений около метки в 16-ом положении. Этот эффект может быть связан с конденсирующим эффектом холестерина вблизи поверхности мембраны и «антиконденсирующим» эффектом холестерина в глубине мембраны.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. С. А. Дзюба, аспирант Н. П. Исаев.

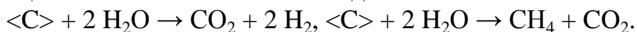
ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ И МЕХАНИЗМОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ВОДЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С АКТИВИРОВАННЫМ УГЛЕМ

И. И. Фадеева, М. Я. Сокол
Новосибирский государственный университет
Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

В настоящее время непрерывно увеличивается потребность в получении газообразных и жидких топлив из биомассы, отходов, низкосортных углей. Наиболее эффективные методы получения основаны на использовании сверхкритической воды ($P \geq 22.1$ МПа, $T \geq 647$ К) [1]. Сверхкритическая вода (СКВ) обладает следующим уникальным свойством: неограниченно растворяет неполярные органические вещества. При переходе в сверхкритическое состояние вода становится неполярным растворителем, хорошо экстрагирует из твердой матрицы органические вещества, взаимодействует с углеродом с образованием горючих газов H_2 , CH_4 , CO .

В данной работе представлены результаты исследования газификации активированного угля СКВ. Исследования проведены с помощью трубчатого реактора при $T = 380\text{--}750$ °С и $P = 4\text{--}30$ МПа, в стационарном режиме и при прокачке СКВ через слой частиц активированного угля. Состав горючих газов измерялся квадрупольным масс-спектрометром MS-7303.

Получены данные о скорости производства горючих газов при варьировании P , T и времени взаимодействия воды с углем. Обнаружено, что соотношение H_2 : CH_4 : CO зависит от условий эксперимента. Оказалось, что основным компонентом продуктов является водород. Механизмы формирования горючих газов, по-видимому, включают следующие реакции многочастичного взаимодействия:



Из полученных результатов следует, что активированный уголь обладает повышенной активностью в реакциях разложения воды, его можно использовать для получения водорода из воды при относительно низких температурах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 09-08-00206).

1. Vostrikov A.A., Psarov S.A., Dubov D.Yu. et al. Kinetics of coal conversion in supercritical water // *Energy & Fuels*. 2007. V. 21. P. 2840-2845.

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

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ НАНОКЛАСТЕРОВ МЕДИ ПРИ СИНТЕЗЕ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

И. В. Чепкасов

Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, г. Абакан

Для исследования процесса конденсации из газовой фазы кластеров меди и их эволюции при кратковременном термическом воздействии была использована компьютерная модель, основанная на методе молекулярной динамики. Для вычисления сил межатомного взаимодействия применялся модифицированный потенциал сильной связи. Начальной точкой конденсации была конфигурация, содержащая 85000 атомов Cu, распределенных в простой кубической решетке с параметром решетки $15a_B$, где a_B – радиус Бора. Начальная скорость атомов соответствовала случайному распределению Максвелла – Больцмана при начальной температуре $T_i = 1000$ К.

Во время моделирования для охлаждения системы с некоторой фиксированной скоростью использовался термостат Андерсена. В нашем случае он имитирует взаимодействие с инертным газом, применяемым в реальных экспериментах по синтезу нанокластеров из газовой среды. Используя данный метод при частоте столкновений частиц $U = 0,025$ пс⁻¹, было проведено охлаждение моделируемой системы до температуры $T_f = 77$ К.

Высвобождение энергии связи во время начального формирования кластеров малого размера приводит к значительному повышению температуры среды до максимального значения $T = 6939$ К. Использование термостата Андерсена плавно понижает температуру моделированной системы, и атомы Cu начинают конденсировать с образованием горячих жидких капель. При дальнейшем понижении температуры первичные частицы агломерировались в более крупные формирования различной формы и структуры.

Было выяснено, что последующий нагрев полученных таким способом кластеров всего в течении нескольких наносекунд до температур порядка 400–500 К позволяет существенно улучшить их внутреннюю структуру с преимущественным формированием сферической формы.

Таким образом, открывается принципиальная возможность контроля формирования кластеров Cu с ожидаемой структурой и, следовательно, с определенными физическими свойствами. Это может быть необходимо для производства современных технических устройств и, в частности, производства новых накопителей информации для компьютерной техники.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доцент Ю. Я. Гафнер.

САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ НИТРИДА КРЕМНИЯ В СИСТЕМЕ «ОКСИД КРЕМНИЯ – АЗИД НАТРИЯ» С МИНИМАЛЬНОЙ ДОБАВКОЙ КРЕМНИЯ

Е. И. Шешунова, Н. А. Асмала

Самарский государственный технический университет

Цель работы – исследование возможности проведения самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) нитрида кремния в системе «оксид кремния – азид натрия» с минимальной добавкой кремния.

Нитрид кремния имеет широкое применение благодаря своим свойствам. Данная технология отличается экономичностью (синтез из дешевого оксидного сырья) и экологичностью (не используются галлоидные соли).

Синтез проводится в лабораторном реакторе постоянного давления объемом 4,5 литра. Температуры и скорости горения измеряются с помощью вольфрам-рениевых термопар с применением АЦП и персонального компьютера.

Для синтеза нитрида кремния используется следующее уравнение химической реакции:



где $x=0,05..1$.

Оксид кремния является поставщиком кремния в зону реакции.

В расчете компонентов исходной шихты, проведенном в программе «Stehio» учитывалось: соотношение компонентов (оксид кремния, азид натрия) и добавки кремния (0,05-1моль), диаметр образца, насыпная плотность шихты. Из результатов термодинамических расчётов в программе «Thermo» видно, что с увеличением добавки кремния в систему «оксид кремния – азид натрия» происходит рост температуры горения (1600,63-1888,63К) и энтальпии (от -820,011 до -798,71 кДж). Температура горения и энтальпия не изменяются в диапазоне давлений 30-50 атм.

Итак, по результатам термодинамических расчётов можно сказать, что система «оксид кремния – азид натрия» с минимальной добавкой кремния обладает достаточной температурой горения и энтальпией для проведения синтеза и образования нитрида кремния.

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАШИННАЯ ГРАФИКА	3
С. А. Авдеев	3
С. А. Алямкин	4
А. А. Астапков, П. Г. Морозов	5
С. А. Бабин	6
В. А. Безуглый	7
И. Ю. Булаев	8
Е. Д. Булушев	9
А. С. Воронова	10
А. Ю. Гунькин	11
А. А. Дербенёв	12
В. В. Еремина, Д. А. Уляхина, Ю. В. Босяк	13
Н. В. Завгородная	14
П. А. Зрюмов	15
И. В. Калгин, С. А. Алямкин, М. А. Бондарь	16
А. А. Кошкарев	17
А. А. Мигиренко, Б. Н. Яворский	18
Д. В. Огородников	19
Е. В. Позднякова	20
В. А. Симаков	21
В. В. Сукочев	22
М. В. Тараканова, В. А. Филимонов	23
А. А. Тычинская	24
М. М. Цицверо	25
Г. О. Юданов	26
А. А. Ягодницына	27
АЭРОФИЗИКА И НЕРАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ	28
Р. Н. Абдуллаев	28
А. Ш. Агажанов, И. В. Савченко	29
К. В. Адаменко	30
М. Н. Андреев, А. И. Сафонов	31
Я. С. Бебиева	32
Т. А. Бобарыкина	33
М. А. Бондарь	34
С. П. Борисов	35
О. А. Булгакова	36
А. И. Голубов	37
В. В. Гузанов, А. З. Квон	38
Д. А. Дектерев, А. А. Дектерев	39

А. О. Замчий	40
С. В. Исаенков	41
И. В. Казанин, А. Ю. Пак, А. С. Верещагин	42
Р. И. Казанцев, Ю. Г. Ермолаев	43
А. В. Кириенко	44
И. А. Козулин, А. С. Буткеев.....	45
Г. Л. Колосов	46
Д. В. Крей.....	47
Е. П. Куйбина.....	48
И. В. Литвинов.....	49
М. И. Моисеев	50
П. А. Мотырев, М. М. Катасонов.....	51
Р. И. Мулляджанов.....	52
Д. С. Ожгибесов.....	53
А. В. Панина	54
Д. В. Первов	55
Е. М. Плотникова, А. Ф. Кулешов	56
А. В. Пушкарев	57
А. С. Пятков	58
Д. В. Сергачев.....	59
К. М. Сердюк	60
И. А. Соколов.....	61
С. Н. Толкачев	62
М. В. Шугаев	63

БИОЛОГИЧЕСКАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА 64

Д. А. Безбабный, О. М. Зиновьева	64
Д. А. Безбабный, П. И. Кушнарв.....	65
Д. В. Вервейко, А. Ю. Верисокин.....	66
Г. С. Гагаркина	67
Н.С. Доронин	68
И. Г. Дранов	69
К. С. Калугин	70
А. В. Кириллова.....	71
А. А. Коваль, В. М. Луговой	72
А. В. Козлова	73
М. Ю. Кардакова	74
Н. С. Мельников	75
А. Е. Москаленский.....	76
Е. С. Мусатова	77
Ю. Г. Пичугин	78
А. А. Польщичин.....	79
А. С. Садовский.....	80

Е. А. Темлякова, В. М. Луговой	81
С. С. Хайрулин	82
И. В. Хало.....	83
И. В. Черепанов	84
Т. Н. Шерстова, А. В. Чернышев, В. М. Некрасов	85

КВАНТОВАЯ ОПТИКА86

С. Р. Абдуллина, И. Н. Немов	86
А. Ю. Авдеева.....	87
И. А. Болдов	88
Г. М. Борисов, А. А. Ковалев	89
А. А. Брызгалова	90
И. Д. Ватник	91
А. И. Горковенко	92
А. В. Денисов.....	93
И. С. Дианов.....	94
А. С. Завьялов, Д. С. Чуркин	95
Р. Я. Ильенков, Д. В. Бражников, А. В. Тайченачев	96
Л. А. Кабанова, А. А. Колегов, С. С. Шмаков, Р. С. Ким	97
А. С. Конченко, В. П. Корольков, Р. К. Насыров	98
П. Н. Косулин	99
В. Е. Лещенко	100
Е. О. Мальцева.....	101
Д. В. Мещеряков.....	102
К. А. Окотруб.....	103
Е. С. Остапенко, Д. В. Ледовских, Н. Н. Рубцова	104
В. А. Попова.....	105
Д. А. Раднатаров	106
Н. В. Рудакова.....	107
В. Д. Салахутдинов	108
З. В. Семёнов, И. А. Зарубин.....	109
В. А. Симонов, И. Н. Немов, А. Л. Долгушин	110
Н. С. Тарасов.....	111
А. В. Тайченачев, А. А. Тармышова, В. И. Юдин	112
О. Тозони.....	113
Ю. С. Федотов	114
Е. А. Якшина.....	115

РАДИОФИЗИКА.....116

И. И. Авдеев.....	116
В. В. Аргунов.....	117
А. К. Башлыков.....	118
Р. В. Вахрушев.....	119

А. В. Гапченко	120
А. А. Голицын.....	121
А. Б. Грошев.....	122
Е. А. Гурева	123
Е.В. Емельянов	124
А. А. Иванова, С. В. Иваненко, Е. А. Пурыга	125
Р. А. Кадыров.....	126
Д. С. Клыгач.....	127
Д. С. Козин	128
А. А. Корсаков	129
А. Ф. Кривошапкина	130
Г. Е. Кулешов.....	131
И. О. Майборода.....	132
А. Ю. Маркова.....	133
С. В. Ошкукова	134
А. В. Павленко	135
К. А. Пирогов.....	136
Е. А. Ромаметьева.....	137
Ю. В. Сокольницкая.....	138
А. С. Сосков	139
А. С. Стюф	140
Л. Д. Тарабукина	141
И. И. Тихонюк	142
А. А. Усюкевич.....	143
Б. А. Числов	144
М. В. Якищенко.....	145

ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР, ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И

МАГНЕТИЗМА

146	
Р. Бердиев, З. Абдулмуталова	146
П. Ю. Гатилов	147
К. В. Гец	148
Ю. Э. Гребенькова, А. В. Черниченко	149
Р. К. Жданов	150
В. В. Клековкина	151
А. В. Малышева, А. И. Истомин	152
С. В. Постолова	153
А. С. Шевелев	154

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

155	
В. В. Белых.....	155
С. А. Высоцкий, А. Б. Цыганов, А. В. Морин.....	156
И. С. Емелев	157

В. В. Ермолич, М. В. Кузнецова	158
А. В. Жданов	159
К. В. Зайцев	160
Е. А. Казаков	161
И. Е. Карпов	162
А. А. Касатов	163
Д. А. Касатов, А. Н. Макаров, А. С. Кузнецов, В. И. Алейник,	164
И. Н. Сорокин, С. Л. Синицкий, С. Ю. Таскаев	164
Д. В. Кислер	165
В. В. Куркучеков	166
Б. Р. Кутлимуротов	167
М. Д. Мишенин	168
М. Э. Мустафин	169
П. В. Оконечников	170
И. А. Прохоров	171
А. Н. Пушкарева	172
В. Ф. Скляр	173
А. В. Судников	174
М. А. Черкасова, А. П. Мезенцев	175
И. С. Черноштанов	176
А. Б. Цыганов, М. А. Мамелькина, М. Н. Сагайдаченко	177
Д. В. Юров	178
С. И. Яковлев	179

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ180

И. А. Азаров	180
М. В. Алейникова	181
К. А. Амонов	182
А. В. Бакулин, С. В. Еремеев, О. Е. Терещенко, С. Е. Кулькова	183
К. О. Бугаев	184
А. А. Бушманова	185
П. В. Винокуров	186
Д. Ю. Власов	187
Б. Гаипов, Т. У. Тошбоев, С. К. Ахроров	188
М. О. Гарифуллин	189
А. В. Герт	190
Д. И. Горн, С. Н. Несмелов, С. М. Дзядух	191
Д. В. Горшков	192
М. В. Иванов	193
А. С. Кожухов	194
Т. В. Козлова	195
П. Н. Кропотин	196
С. В. Макаренко	197

Ш. Т. Маншуров	198
Е. Г. Мозулев	199
М. Э. Мустафин	200
Ю. Н. Назарчук, В. А. Новиков	201
С. С. Некрашевич	202
А. И. Никифоров, В. А. Тимофеев, В. В. Ульянов	203
Д. С. Нифашев	204
И. В. Осинных	205
П. А. Половодов	206
Н. С. Пшелко, Н. П. Сидорова.....	207
У. Х. Рахмонов.....	208
Д. И. Рогило	209
С. А. Рожков	210
Д. О. Сивун, Р. В. Киселев.....	211
С. В. Ситников.....	212
Е. В. Скробов	213
В. С. Солдаткин, Н. В. Амбарникова.....	214
В. С. Солдаткин, Н. В. Амбарникова, К. В. Тепляков.....	215
В. Г. Стельмах.....	216
К. В. Тепляков, А. А. Вилисов, Г. Н. Захарова, Н. В. Амбарникова.....	217
К. С. Титов	218
Р. Д. Токмашев	219
Н. А. Торопов, А. М. Турапин.....	220
Ф. Тугалов.....	221
М. Т. Убайдуллаев.....	222
Н. С. Филатова, А. О. Яковлев	223
К. Т. Холиков.....	224
К. Т. Холиков.....	225
Ш. Худояров	226
А. А. Шевырин	227
В. В. Щербина, М. В. Бородин, Д. О. Анисимов	228
В. В. Щербина, М. В. Бородин, Д. О. Анисимов, А. Ю. Печенкин	229
А. Ю. Ющенко, С. С. Кузнецов	230
I. V. Favorskiy.....	231
S. A. Gerasimova	232

ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ.....233

Е. Servais.....	233
Е. Г. Авдеева	234
Н. Амангельды, Н. Буртебаев, Б. Мауей,	235
А. Ж. Ильясова, Ш. М. Хамада	235
Н. Амангельды, Н. Буртебаев, Е. Н. Сауханбек,	236
Н. У. Эшбеков, Ш. М. Хамада.....	236

В. С. Воробьев	237
Р. Е. Герасимов	238
К. А. Гревцов	239
Е. Г. Козлов	240
К. А. Мартин	241
Д. В. Матвиенко	242
Д. А. Никифоров	243
Л. В. Никифорова, Б. В. Яковлев	244
А. С. Руденко	245
С. Г. Сальников	246
Л. В. Тимофеев	247

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА.....248

С. А. Анохин	248
А. В. Басалаев, Д. О. Ким, Д. С. Кривашин	249
С. Е. Гаязов	250
П. В. Глотов	251
А. В. Головизин	252
Е. М. Громов	253
Е. А. Гуреева	254
М. О. Каплин	255
Р. А. Касаткин	256
А. В. Козлачков	257
В. Н. Кудрявцев	258
А. С. Леонов	259
В. А. Ложкин	260
А. В. Макеев	261
Р. А. Подгаевский	262
А. И. Сенченко	263
А. П. Трахимёнок	264
В. Х. Хамидуллин	265
В. Р. Шаяхметов	266

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ267

Н. И. Аргунова	267
Т. В. Баймурзин, А. Г. Мухьшбаева, Б. Юсупбекова	268
И. А. Батаев, В. И. Мали, Д. В. Павлюкова, Т. В. Журавина, Е. Б. Макарова	269
И. А. Батаев, А. А. Руктуев	270
И. А. Болдов	271
Д. В. Брагин	272
И. В. Веснина	273

А. М. Власова	274
А. Ю. Голиков, Е. Д. Головин, В. А. Кузнецов, Т. И. Савенко	275
Т. С. Грекова	276
И. В. Гринев, В. В. Зубков, В. М. Самсонов	277
Е. Ю. Гудимова, Л. Л. Мейснер, М. Г. Дементьева	278
Я. А. Джулай	279
С. С. Добросмыслов, Е. И. Степанов	280
А. И. Емельянов, А. С. Поздняков, Т. Г. Ермакова	281
В. С. Жалнина, В. А. Смоляр	282
Ж. Б. Жанузак, Ф. У. Абуова, И. Н. Нышанбаева	283
Т. В. Журавина, Д. С. Терентьев	284
К. В. Зобов	285
А. А. Зыков	286
А. М. Игошкин	287
Е. С. Калатур	288
М. Ю. Киямов	289
Д. А. Киямова	290
М. В. Коробенков, А. Е. Ширококов, А. А. Козулин, Е. Г. Скрипняк ..	291
В. В. Кривошееenko, М. Р. Каюмов, А. Н. Трифонова, А. Б. Канн	292
А. А. Лизунова, Е. В. Емелин, А. А. Свинцов	293
Д. А. Лысак	294
Д. А. Михоленко, М. Д. Михоленко	295
Нгуен Чыонг Тхань Хиену	296
Н. А. Небогатикова	297
М. А. Неклюдова	298
О. А. Никитенко, Ю. Ю. Ефимова	299
В. А. Пересунько	300
Ю. Н. Ромашова, И. А. Батаев	301
Т. И. Савенко, Е. Д. Головин, Н. В. Шелудько	302
Р. Савченко, В. Н. Максимов	303
П. Н. Сёмина	304
И. В. Старикова	305
И. В. Тарманова, А. М. Шитова	306
С. В. Ти, Ю. Г. Матейшина	307
А. О. Товпинец, Е. В. Жуков	308
М. С. Толстых, Ю. А. Кобцева, С. А. Иванов, В. П. Таров	309
Н. М. Тропин, А. С. Буткеев	310
Е. В. Трушин	311
К. А. Турубанов, М. К. Ковалёв, М. С. Мельгунов	312
Н. С. Филатова, А. О. Яковлев	313
А. В. Фокин	314
К. О. Шарифулин	315
Н. В. Шелудько, Е. Д. Головин	316

Н. В. Шелудько, А. Ю. Голиков, Е. Д. Головин, В. А. Кузнецов.....	317
А. Е. Ширококов, Р. А. Шушаков, А. В. Корепанов, А. А. Козулин	318
Е. В. Шишкина	319
М. С. Шлапаков	320
Е. О. Юрова, Д. Г. Масейчук, А. В. Давыдова	321
Е. С. Юрковская	322
С. С. Якушкин.....	323

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА324

Р. Ponomarenko	324
М. Van Landeghem, В. Blümich, J-B. d’Espinoze de Lacaille.....	325
Ю. А. Альгаер, К. В. Лейбович	326
А. С. Андреев.....	327
К. С. Бабин	328
Э. Р. Байсупова	329
И. С. Беспалов.....	330
О. В. Боровкова	331
И. Е. Герасимов	332
М. Б. Гончикжапов	333
О. А. Горбунов.....	334
Э. С. Казанцева	335
М. А. Каныгин, А. Г. Куреня.....	336
А. А. Квасов	337
И. В. Кобраль, Л. М. Утенкова.....	338
А. Ю. Комаровских, С. В. Валиулин	339
М. М. Красильников	340
О. А. Крумкачева.....	341
И. С. Лысков	342
М. Н. Люлюкин	343
А. А. Лямкина	344
Р. А. Максюттов	345
А. М. Нищенко	346
Д. А. Пархоменко	347
Т. И. Пичугина.....	348
З. И. Попов, Д. А. Федоров.....	349
В. М. Пшеницын.....	350
А. Г. Рябищенкова.....	351
М. В. Сафронов.....	352
Е. А. Сутурина	353
В. Н. Сырямина	354
И. И. Фадеева, М. Я. Сокол	355
И. В. Чепкасов	356
Е. И. Шешунова, Н. А. Асмала	357

МАТЕРИАЛЫ
XLVIII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ
СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«Студент и научно-технический прогресс»

ФИЗИКА

Тезисы докладов печатаются в авторской редакции

Дизайн обложки – И. И. Коптюг

Подписано в печать 30.03.2010

Офсетная печать

Заказ № _____

Формат 60x84/16

Уч.-изд. л. 18,75 Усл. печ. л. 22,94

Тираж 400 экз.

Редакционно-издательский центр НГУ
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2