

B3  
C880

**МАТЕРИАЛЫ  
XXXVI МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНОЙ  
СТУДЕНЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ**

**“Студент  
и научно-технический  
прогресс”**



**ФИЗИКА**

1998 г. № 1. КФХИ  
8661

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**МАТЕРИАЛЫ  
XXXVI МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНОЙ  
СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**"Студент  
и научно-технический прогресс"**

**ФИЗИКА**

**ЧАСТЬ 2**

**НОВОСИБИРСК**

**1998**

области 610-640 нм, а также достаточно интенсивная полоса радикала ОН 306.2 нм.

Научный руководитель — доц., канд. хим. наук А.М. Ефремов

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ЧАСТОТ ДИОКОТРОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ЗАРЯЖЕННОЙ ПЛАЗМЫ

А. В. Арефьев

Новосибирский государственный университет

Проведено исследование спектра частот диокотронных колебаний и эволюции начальных возмущений с азимутальным числом  $\ell = 1$  в холодной электронной плазме, удерживаемой в ловушке Пеннинга. Предполагается, что плазма имеет форму круглого цилиндра, ориентированного параллельно направлению однородного внешнего аксиального магнитного поля.

Исследована асимптотика решений, полученных в линейном приближении, при больших временах и исследован переход от идеализированного профиля плотности, состоящего из ступенек, к гладкому. Показано, что для ступенчатого профиля число частот нормальных колебаний (с учетом кратности) равно числу ступенек. При небольшом сглаживании ступенек соответствующие возмущения становятся неустойчивыми, если зависимость частоты электрического дрейфа от радиуса не монотонна, причем рост возмущений происходит по степенному закону. При дальнейшем сглаживании алгебраически растущие возмущения модифицируются таким образом, что на больших временах они начинают экспоненциально затухать.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук И. А. Котельников

## ЖЕЛОБКОВАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ НА ГРАНИЦЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

И.Л. Аршукова

Красноярский государственный университет

В работе рассмотрена желобковая неустойчивость на границе магнитосферы Земли. Цель работы — исследование зависимости инкремента неустойчивости от направления межпланетного магнитного поля (ММП), радиуса кривизны границы и ее толщины.

Граница магнитосферы, называемая магнитопаузой, представляет собой тонкий токовый слой, отделяющий магнитное поле Земли от ММП. В пределах этого слоя происходит резкий поворот магнитного вектора. Желобковая неустойчивость по своей физической природе аналогична неустойчивости Рэлея-Тэйлора. Здесь магнитное натяжение, связанное с конечной кривизной границы, уравновешено градиентом полного давления, направленным в противоположную сторону. Следовательно, эффективная сила тяжести на границе магнитосферы должна быть направлена наружу. Заведомо устойчивому состоянию границы магнитосферы соответствует монотонное возрастание давления плазмы при выходе из магнитосферы во внешнюю область. Появление участка немонотонности давления на границе может приводить к развитию неустойчивости. Такая немонотонность давления может возникать при ориентации ММП антипараллельно геомагнитному полю. В этом случае на границе магнитосферы формируется слой повышенного давления.

В данной работе использовалась упрощенная модель, в которой магнитное поле и плотность плазмы предполагались кусочно постоянными в трех областях: внутри магнитосферы, в пограничном слое и во внешней области. На фоне этих параметров была рассмотрена эволюция малых возмущений методом Фурье. В результате получено дисперсионное уравнение, определяющее инкремент неустойчивости как функцию волнового вектора ( $\kappa$ ), толщины слоя ( $a$ ) и угла поворота ММП ( $\Theta$ ) относительно направления геомагнитного поля. Инкремент неустойчивости максимален при антипараллельной ориентации ММП и геомагнитного поля. Инкремент резко уменьшается с возрастанием длины

волны и изменением угла  $\theta$ . Уменьшение толщины пограничного слоя также приводит к уменьшению инкремента.

Научный руководитель — проф., д-р физ.-мат. наук Н.В. Еркаев

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛИРЕН-МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ В ТОНКИХ ПЛАЗМЕННЫХ СЛОЯХ

О.Л. Белобородова

Новосибирский государственный университет

Прохождение волнового фронта через слабо неоднородную среду приводит к изменению пространственного распределения амплитуды и фазы волны. Это явление используется для восстановления распределения показателя преломления тонких плазменных слоев, просвечиваемых лазерным лучом. Одним из методов восстановления является шлирен-метод, в котором луч лазера, пройдя через объект, попадает на линзу, в фокальной плоскости которой расположен нож, отсекающий половину дифрагированного света.

Из геометрической оптики следует, что освещенность в каждой точке экрана будет пропорциональна соответствующему углу отклонения луча, прошедшего через фазовый объект [1].

Рассмотрено прохождение света через оптическую систему с учетом дифракции [2]. Рассматривался спектр Фурье распространяющегося света, использовалось свойство линзы как элемента, выполняющего Фурье-преобразование. Найден импульсный отклик системы и с помощью интеграла суперпозиции получена формула, связывающая поле после прохождения исследуемого объекта с интенсивностью света на экране. Рассмотрен модельный пример измерения зависимости показателя преломления в тонком объекте с помощью шлирен-метода.

1. Скотников М.М. Теневые и количественные методы в газовой динамике. М.: Наука, 1976.

2. Гудмен Дж. Введение в Фурье-оптику. М.: Мир, 1970.

Научные руководители — проф., д-р физ.-мат. наук Б.А. Князев, доц., канд. техн. наук В.С. Черкасский

## ИССЛЕДОВАНИЕ АКСИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПРОДОЛЬНОГО ТОКА В ТУРБУЛЕНТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕ

С.А. Бехер

Новосибирский государственный университет

В экспериментах на установках АМБАЛ-М и МАП было показано, что при работе плазменного источника в плазме возникает продольный ток, который может быть объяснен с помощью эффекта турбулентного динамо [1]. связи с этим возникла задача об определении структуры этого продольного тока.

При работе плазменного источника в плазме возникает неоднородное радиальное электрическое поле, которое приводит к неоднородному вращению плазменного шнура и развитию неустойчивости Кельвина-Гельмгольца [2].

Измерения продольного тока проводились с помощью системы из шести катушек, расположенных на двух различных радиусах с шагом  $60^\circ$  и ориентированных так, чтобы измерять аксиальное магнитное поле. В частотных спектрах сигналов с этих катушек были обнаружены гармоники кратные частоте вращения плазменного шнура, что говорит об отсутствии аксиальной симметрии в распределении тока, протекающего по плазме.

В качестве модели описывающей структуру продольного тока было предложено использовать разложение по следующим пространственным модам: нулевая мода — точечный ток, текущий по оси системы; первая мода — два тока одинаковых по величине и различных по направлению, расположенные через  $180^\circ$  вторая мода — четыре тока, одинаковых по модулю и различных по направлению, расположенных через  $90^\circ$  и т. д.

Было выяснено, что основными являются только нулевая, третья и пятая моды. Измеренное магнитное поле на катушках приближалось суммой полей от каждой моды, и таким образом определялись радиус и ток в каждой моде.

Кроме этого были вычислены автокорреляционная функция для каждого сигнала, корреляция для сигналов с двух датчиков с разными радиусами и с датчиков с одинаковыми радиусами, но разными углами.

1. Кабанцев А.А., Рева Б.В., Соколов В.Г. Турбулентное динамо в открытых ловушках. Препринт ИЯФ СО РАН 97-31. Новосибирск, 1997.

2. Кабанцев А.А., Таскаев С.Ю. Низкочастотная дрейфовая неустойчивость плазменной струи желобкового типа. Физика плазмы, 1990. Т. 16. Вып. 6. С. 40-50.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. В.Г. Соколов

### ЗАХВАТ И УДЕРЖАНИЕ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В МАГНИТНОЙ ЯМЕ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА НА УСТАНОВКЕ ГОЛ-3-II

Е.В. Бобух

Новосибирский государственный университет

Рассматривается задача о торможении, рассеянии и захвате потока электронов плазмой, помещенной в магнитную яму. Энергии электронов значительно превышают тепловую энергию частиц среды. Данная постановка определяется планируемыми экспериментами по нагреву плазмы электронным пучком в длинном пробкотроне по схеме двухступенчатого нагрева [1].

Для улучшения захвата быстрых электронов и удержания сгустка плотной плазмы он размещается в локальном минимуме магнитного поля ("магнитной яме"). Плотность налетающих электронов предполагается малой по сравнению с плотностью плазмы в ловушке. Магнитная конфигурация ловушки произвольна. Профиль плотности плазмы также произволен, но постоянен во времени.

На основе кинетического подхода была решена задача об отклике системы на короткие импульсы влетающих электронов в приближении большой длины их пробега по сравнению с длиной

ловушки. Затем по полученным откликам в силу их аддитивности восстанавливалась реакция системы на реальные пучки. Результаты расчетов показывают, что даже при малом рассеянии электронов за один пробег ловушки их захват может достигать существенных значений, приводящих к увеличению концентрации захваченных частиц в 2-3 раза по сравнению с концентрацией свободных частиц уже для пробочных отношений порядка 3. При этом время жизни электронов в ловушке оказывается достаточным для передачи ими значительной части своей энергии в тепловую энергию основной плазмы.

Эти эффекты могут быть использованы в планируемых экспериментах по нагреву плазмы в магнитной яме.

1. Астрелин В.Т., Бурдаков А.В., Койдан В.С. // ЖЭТФ, 113, 1998. С. 897.

Научный руководитель — канд. техн. наук В.Т. Астрелин

### ИЗУЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ НА УСТАНОВКЕ ГОЛ-3-II

А.Ю. Заболотский

Новосибирский государственный университет

В работе обсуждаются результаты, полученные в экспериментах на установке ГОЛ-3-II при помощи диагностик, выполненных на основе цифровой фотокамеры Kodak DC20 и 16-канального детектора вакуумного ультрафиолетового излучения (ВУФ), выполненного по типу камеры-обскуры.

Суть работы на начальном этапе состояла в подготовке диагностической аппаратуры — сборке ультрафиолетового детектора, в подготовке цепей управления и регистрации, а для фотокамеры — в адаптации к экспериментальным условиям. Для фотокамеры была разработаны и подготовлены системы питания, точной синхронизации запуска, защита от рентгеновского излучения и электромагнитных наводок. Для обработки получаемых

данных были написаны программы с удобным пользовательским интерфейсом.

Цифровая фотокамера использовалась в качестве регистратора в нескольких диагностиках. В экспериментах с ее помощью были получены снимки плазмы в различных точках установки в видимом свете, а также в свете различных линий. Использование камеры совместно со спектральными приборами позволило получить снимки спектров свечения плазмы в областях спектра от 60 до 1000 нм с временным разрешением до 1 мкс. Фотографирование экрана рентгеновского электронно-оптического преобразователя позволило получить снимок свечения горячей плазмы в ультрамягкой рентгеновской области спектра.

Линейное расположение каналов ВУФ обскуры позволило исследовать как поперечную, так и продольную динамику сечения плазмы с пространственным разрешением около 5 мм и временным разрешением  $\sim 50$  нс. На основе полученных данных проведена оценка мощности излучения плазмы в диапазоне 10-50 эВ.

Сравнение данных, полученных при помощи детектора-обскуры с данными, полученными при помощи фотокамеры и других диагностик, дало возможность получить более полную картину излучения плазмы, определить степень однородности ее параметров. Была обнаружена область аномально высокой яркости ВУФ излучения вблизи узла создания предварительной плазмы; обнаружена пространственная микроструктура ВУФ излучения в экспериментах по нагреву плотного плазменного сгустка.

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

### ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛОТНОСТИ ИОНОВ ПЛОТНОЙ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

И.А. Иванов

Новосибирский государственный университет

На установке ГОЛ-3-II исследуется нагрев плотной плазмы электронным пучком в длинном соленоиде. Перед включением

пучка в разреженной предварительной плазме ( $\sim 10^{15}$  см $^{-3}$ ,  $L = 12$  м) создается плотное короткое ( $l \sim 1$  м) водородное или дейтериевое облако. Пучок, проходя через плазму, за счет коллективных взаимодействий нагревает разреженную плазму, которая затем передает энергию более плотной, нагревая ее до температур  $\sim 100$  эВ.

Для изучения высокотемпературной плазмы используются различные методы диагностики. Обычные методы (интерферометрический, томсоновское рассеяние лазерного излучения) измерения температуры и плотности плазмы требуют больших затрат и сложны в эксплуатации. Нами был предложен метод диагностики плазмы по уширению линии  $H_{\alpha}$ . Привлекательность этого метода заключается в простоте его технической реализации.

Описываемый метод основан на зависимости формы линии  $H_{\alpha}$  от плотности и температуры плазмы. Была создана программа расчета профиля линии учитывающая штарковское и доплеровское уширения, позволяющая рассчитывать линии для большого диапазона температур (1-500 эВ). В существующей литературе (см. напр. [1],[2]) расчеты производились для температур ниже 4 эВ.

В экспериментах было показано, что измерение параметров плазмы этим методом хорошо согласуется с другими диагностиками и дает возможность изучить процесс нагрева и остывания плазмы.

1. Грим Г. Уширение спектральных линий в плазме. М.: Мир, 1978.

2. Демура А.В., Лисица В.С., Шолин Г.В.. Теория штарковского уширения водородных спектральных линий в плазме // ЖЭТФ, Т. 64. Вып. 6. С. 2097.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук П.И. Мельников

## РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ В ПЛАЗМЕ ПРИ ПОМОЩИ ИОННО-ЦИКЛОТРОННОГО РЕЗОНАНСНОГО НАГРЕВА

С.Г. Кузьмин

Новосибирский государственный университет

Излагается теория разделения изотопов в плазме посредством изотопически селективного ионно-циклотронного резонансного нагрева. Идея рассматриваемого метода состоит в селективном ИЦР нагреве струи многоизотопной плазмы, вышедшей из мощного разрядного источника с последующим разделением горячих и холодных ионов [1]. Выделение нагретых ионов предполагается производить в криволинейном магнитном поле за счет выдрейфывания на стенки вакуумной камеры. Нагрев предполагается производить в поле соленоидальной антенны, возбуждающей колебания с азимутальным числом  $m = 0$ . При этом рассматривается нагрев как на первой гармонике, так и на второй гармонике циклотронной частоты выделяемого изотопа. Для обоих случаев получена функция распределения ионов на выходе из зоны нагрева. Установлено, что эффективность нагрева на первой и второй гармонике примерно одинакова, однако в случае нагрева на второй гармонике величина ведущего магнитного поля может быть снижена вдвое.

1. Волосов В.И., Котельников И.А., Кузьмин С.Г. О разделении изотопов тяжелых элементов методом изотопически селективного ИЦР нагрева // Физика плазмы. 1998.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук И.А. Котельников

## ПОНДЕРОМОТОРНОЕ УСКОРЕНИЕ ПЛАЗМЫ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

А.В. Лавриницкий, П.М. Солнцев

Объединенный институт физики земли им. О.Ю. Шмидта РАН

В рамках общей проблемы переноса ионов из верхней атмосферы в магнитосферу рассмотрен механизм пондеромоторного ускорения ионов в водородно-кислородной плазме под воздействием ионно-циклотронных и альвеновских волн. Аналитически и численно исследована система квазилинейных уравнений, описывающая диффузионное равновесие. Обнаружено явление сепарации ионов под действием магнитогидродинамических пондеромоторных сил. Найден критерий, при выполнении которого происходит сепарация ионов, причем так, что легкие ионы скапливаются в узлах электрического поля, а тяжелые — в узлах магнитного поля стоячей волны. Показано, что волны Альвена не могут изменить строгой монотонности спада плотности плазмы с удалением от Земли. Качественно структура распределений плотности плазмы характеризуется тем, что плотность кислорода всюду спадает с удалением от Земли, а плотность водорода имеет один максимум. С ростом амплитуды волн крутизна спада плотности кислорода уменьшается, а положение максимума плотности водорода удаляется от Земли.

Исследовалось влияние волн Альвена на ускорение полярного ветра. Численное решение задачи о стационарном течении плазмы над полярной шапкой показало, что наличие волн в потоке приводит к заметному изменению режима течения. Происходит смещение к Земле точки сверхзвукового перехода, аномальное ускорение плазмы на больших расстояниях и т. п.

Научный руководитель — проф., д-р физ.-мат. наук А.В. Гульельми

## МЕТОД $CO_2$ -ЛАЗЕРНОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СИЛЬНОТОЧНОГО РЭП

С.С. Попов

Новосибирский государственный университет

Исследования по генерации микроволнового излучения по принципу лазера (мазера) на свободных электронах с помощью мощных релятивистских электронных пучков с энергией  $\sim 1$  МэВ и током  $\sim 1$  кА представляет несомненный научный и прикладной интерес. В частности, перспективным является использование такого излучения для электронно-циклотронного нагрева высокотемпературной плазмы. Эффективность генерирования излучения в такой схеме существенно зависит от энергетического и углового разброса электронов пучка. Расчеты показывают, что для генерирования 4-миллиметрового излучения с приемлемым к.п.д. разброс электронов пучка по скоростям должен быть порядка  $10^7$  м/с, а угловой разброс не должен превышать  $2 \div 4^\circ$ . Точность применяемых ранее способов измерения указанных параметров пучка (многофольговый анализатор [1] и метод микроотверстий [2]) значительно хуже этих оценок.

В настоящем сообщении приведено описание нового бесконтактного метода измерения углового и энергетического разброса электронов пучка. Основу метода составляет исследование спектра рассеянного электронами пучка инфракрасного излучения, генерируемого мощным  $CO_2$ -лазером ( $\lambda \sim 10.6$  мкм,  $E \sim 10$  Дж.,  $\tau \sim 100$  нс) [3]. Приведено обоснование геометрии оптической схемы метода (рассеяние назад), при которой рассеянное излучение лежит в видимом диапазоне ( $0,4 \div 0,7$  мкм). Дана оценка чувствительности метода. Приведено описание узлов и элементов оптической схемы, включающей спектрометр с волоконно-оптической связью. Регистрирующая аппаратура защищена от мощного рентгеновского излучения, сопутствующего импульсному РЭП.

1. Аржанников А. В., Астрелин В. Т., Драгунов В. П. Препринт ИЯФ РАН, 1977. С. 77-102.

2. Аржанников А. В., Койдан В. С., Логинов С. В. Препринт ИЯФ РАН, 1981. С. 81-100.

3. Аржанников А. В. Препринт ИЯФ РАН, 1991. С. 91-102.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук В.С. Бурмасов

## АКТИВНЫЙ ОНДУЛЯТОР ДЛЯ ЛСЭ С СИЛЬНОТОЧНЫМ ЛЕНТОЧНЫМ РЭП

В.Д. Степанов

Новосибирский государственный университет

В ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН ведутся исследования, направленные на создание мощных генераторов когерентного миллиметрового излучения по схеме лазера на свободных электронах (ЛСЭ), в котором используется сильноточный пучок с ленточным сечением. Ленточная форма пучка обеспечивает генератору гигаваттную мощность при длине волны 4мм. Для работы такого генератора необходимо создать плоское ондуляторное магнитное поле, амплитуда поперечной компоненты которого плавно нарастает в начале канала и в дальнейшем поддерживается на неизменном уровне ( $B \perp = 1 \div 2$  кГс). Для транспортировки пучка через канал ондулятора имеется продольное магнитное поле ( $B \parallel \sim 10$  кГс). Для достижения высокой эффективности генерации излучения требуется высокое качество ондуляторного поля  $B \perp$ . В связи с этим были проведены измерения этого поля, результаты измерений сопоставлены с компьютерными расчетами, а затем была осуществлена коррекция расположения витков ондулятора.

Так как эффективность генерации излучения тем выше, чем больше амплитуда  $\xi$  колебаний электронов в поперечном направлении, а  $\xi$  ограничена зазором между стенками канала ондулятора, то важно проследить ее зависимость от  $B \perp$ ,  $B \parallel$  и различных параметров пучка. Для получения этих зависимостей было осуществлено компьютерное моделирование движения электрона в полях  $B \perp$ ,  $B \parallel$ .

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук А.В. Аржанников



## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ан Ен Хван

Новосибирский государственный университет

В Институте ядерной физики СО РАН проводятся эксперименты по генерации миллиметрового излучения в лазере на свободных электронах, накачиваемом ленточным пучком. В настоящее время в этих экспериментах получен импульс 4-миллиметрового излучения с энергией порядка 200 Дж при длительности 1 – 2 мксек. Для увеличения мощности излучения размеры сечения пучка должны быть увеличены, что приводит к потере пространственной когерентности излучения. В данном докладе описывается методика определения этой характеристики излучения.

Для проверки когерентности излучения предлагается выделить два небольших участка потока излучения, образуя тем самым квазиточечные источники. Варьируя расстояние между ними, можно проследить за изменением распределения интенсивности полученной интерференционной картины.

Однако ввиду присутствия нескольких длин волн в излучении лазера необходимо выделить отдельную спектральную линию. Это реализуется путем отражения излучения от цилиндрического зеркала с нанесенной на его поверхность периодической структурой. Для анализа предлагаемой схемы был проведен численный расчет распределения интенсивности излучения в фокальной плоскости зеркала от одного и двух когерентных источников, на основе которого вычислены параметры зеркала. На основе предлагаемой схемы был собран прибор, протестированный с помощью маломощного генератора миллиметрового излучения.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.  
С.Л. Синецкий

## ПЛАЗМЕННАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ПОЛЕЙ ВСТРЕЧНЫХ ПУЧКОВ В КОЛЛАЙДЕРАХ

А.В. Яшин

Новосибирский государственный университет

Электромагнитное взаимодействие пучков в месте встречи является одним из факторов, ограничивающих светимость будущих коллайдеров. Поля пучков можно уменьшить при их взаимодействии в плазме. Ранее степень компенсации полей исследовалась только в линейном приближении (случай большой плотности плазмы) и без учета фокусировки пучка плазмой [1].

В настоящей работе рассматривается плазменная компенсация при произвольном соотношении плотностей пучков и плазмы. Показано, что для представляющих практический интерес параметров системы линейная теория верна с точностью 10%. Из-за нелинейных эффектов степень компенсации зависит от знака заряда пучка. Найдена оптимальная толщина плазмы, обеспечивающая максимальную компенсацию полей при заданных параметрах пучков. Рассчитана степень компенсации полей для мюонного коллайдера [1].

1. Stupakov G.V., Chen P. Phys. Rev. Lett. 1996. V. 76, p. 3715.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук К.В. Лотов

Показано, что увеличение мощности волны, отражённой от коллаторного конца замедляющей системы, приводит к существенному обогащению спектра выходного сигнала ЛОВ несоизмеримыми частотными компонентами. При этом с изменением управляющих параметров хаос возникает через разрушение квазипериодических движений, а области удвоений периода относительно невелики. Однако они становятся заметнее при уменьшении отражений.

Таким образом, наличие отражений существенным образом сказывается на работе ЛОВ в сложных автомодуляционных режимах при переходе к хаосу.

1. Безручко Б.П., Кузнецов С.П., Трубецков Д.И. Письма в ЖЭТФ, 1979. Т. 29. Вып. 3. С. 180.

2. Рыскин Н.М., Титов В.Н., Трубецков Д.И. Мат-лы науч. конф. "Совр. проблемы электроники и радиофизики СВЧ". Саратов, 1997. С. 20.

3. Кац В.А. Дис. на соиск. учён. степ. канд. физ.-мат. наук. Саратов, 1985.

Научный руководитель — проф., д-р физ.-мат. наук Б.П. Безручко

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА

К.К. Валертов

Саратовский государственный университет

В работе представлены результаты экспериментальных исследований нелинейных волн пространственного заряда (ВПЗ), возбуждаемых в протяженном электронном потоке, дрейфующем в продольном магнитном поле. Эксперименты были проведены методом физического моделирования с помощью электронного зонда. ВПЗ возбуждались подвижным резонатором СВЧ и регистрировались широкополосным съёмником энергии, позволяющим анализировать разные гармоники сгруппированного тока.

Выбранные параметры электронного потока (радиус пучка 0.6 мм, ток — несколько миллиампер, потенциал 200-1000 в, длина 5-20

см) и модулирующего резонатора (частота 700 МГц, мощность входного сигнала от милливатт до ватта) позволяли реализовать различные интересные режимы волн — от нелинейных ВПЗ до кинематических. Критерием нелинейности возбуждаемых волн являлась безразмерная величина, учитывающая как скоростную модуляцию потока, так и плазменную частоту ограниченной электронной среды.

Проведено исследование эволюции картины ВПЗ вдоль направления распространения электронного потока для двух гармоник. Экспериментальные данные сопоставлены с расчетами. Проведены опыты по наблюдению основных явлений, возникающие при распространении одномерных квазигармонических волн в слабонелинейных средах — модуляционной неустойчивости.

Научный руководитель — проф., канд. физ.-мат. наук

Б.С. Дмитриев

## ВЧ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ПОДЖИГА ПЛАЗМЫ

Р.В. Воскобойников

Новосибирский государственный университет

Большой интерес представляет проблема создания управляемого термоядерного синтеза. В установках для исследования управляемого термоядерного синтеза магнитное поле удерживает разогретую плазму. Для разогрева и диагностики плазмы необходимы пучки нейтральных атомов, которые получают с помощью ионных пучков. Эмиттером таких ионных пучков служит вспомогательный плазменный разряд. Он создается при протекании в газе токов высокой частоты. Для получения высокочастотных токов требуются мощные ВЧ генераторы. Целью работы является разработка 3,5 киловаттного генератора для поджига плазмы, работающего на частоте 4-5 МГц. Генератор работает в импульсном режиме с длительностью импульсов от 2мс до 10с и скважностью более 30. Выходной каскад генератора выполнен на двух параллельно включенных лампах ГУ-78Б. Выходное напряжение генератора стабилизируется с помощью отрицательной обратной

связи. Генератор позволяет модулировать выходную мощность по произвольному закону. Нагрузкой генератора служит индуктивность антенны  $4.5 \text{ мкН}$ , шунтированная сопротивлением горячей плазмы, эквивалентное значение которого примерно  $800 \text{ ом}$ . Нагрузка, находящаяся под потенциалом  $50 \text{ кВ}$  и подключается к генератору через развязывающий ВЧ трансформатор, рассчитанный на напряжение  $75 \text{ кВ}$ .

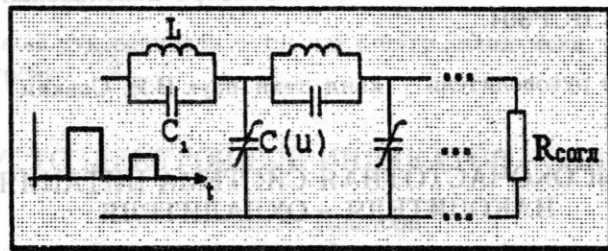
Научный руководитель — канд. техн. наук, ст. науч. сотр.  
И.И. Авербух

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СОЛИТОНА В НЕЛИНЕЙНОЙ LC-ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

А.В. Грибанов  
Саратовский государственный университет  
им. Н.Г. Чернышевского

Солитон — уединенная волна, структурно устойчивая за счет взаимной компенсации влияния нелинейности и дисперсии среды [1]. Интерес к этому объекту обусловлен тем, что это единственный случай стационарной волны, основная энергия которой заключена в конечной области пространства. На солитоны при определенных условиях могут распадаться различные нестационарные образования в плазме, на поверхности воды, в оптических и других средах. В работе исследуется возможность возбуждения и распространения электромагнитных солитонов в нелинейной дисперсной LC-линии передачи. Эквивалентная схема исследуемой линии передачи представлена на рисунке. Линия состоит из 60 ячеек, включающих катушки индуктивности  $L = 23 \text{ мкГн}$ , емкости  $C_1 = 100 \text{ пФ}$  и нелинейные емкости — варикапы КВС120А. С одного конца линия возбуждалась от двух импульсных генераторов, а с другого конца согласовывалась или размыкалась (режим отражения), что позволяет осуществить взаимодействие волн. Измерены вольт-фарадная характеристика варикапа, рассчитаны и экспериментально определены дисперсионная характеристика линии. Исследован распад входного возмущения и взаимодействие

сформировавшихся образований. Характер взаимодействия и закон распространения позволяет классифицировать их как солитоны.



Реальный интерес к подобным системам связан с их доступностью и возможностью радиотехнических приложений (развиваются идеи о применении солитонов в передаче сообщений и помехоустойчивом кодировании информации).

1. Скотт Э. Волны в активных и нелинейных средах в приложении к электронике. М.: Сов. радио, 1977.

Научный руководитель — проф., д-р физ.-мат. наук Б.П. Безручко

### ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ ДУГОВОГО РАЗРЯДА ИСТОЧНИКА ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ

А.В. Гудин  
Новосибирский государственный университет

Разработан источник стабилизированного тока для дугового разряда источника отрицательных ионов. Разряд происходит в парах цезия с изменением напряжения горения от  $200$  до  $50 \text{ В}$  в зависимости от плотности паров цезия. Ток разряда в нашем источнике должен регулироваться в пределах от  $10$  до  $30 \text{ А}$ . Для поджигания разряда напряжение на разрядном промежутке должно иметь выброс до  $800 \text{ В}$  с длительностью доли миллисекунды.

В качестве адекватно отвечающей поставленной задаче выбрана схема релейной стабилизации тока с накопительным дроселем. В качестве ключа в стабилизаторе использовался IGBT транзистор BUP304.

Научный руководитель — канд. техн. наук В.Я. Савкин

## ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ НАКОПИТЕЛЯ – ОХЛАДИТЕЛЯ

П.Г. Денисов

Новосибирский государственный университет

В настоящее время в ИЯФ СО РАН разворачиваются работы по созданию нового поколения коллайдеров, характеризующихся высокой интенсивностью взаимодействующих пучков заряженных частиц, так называемых Ф и С-TAU фабрик.

Первой работой в этом плане является создание ВЧ системы накопителя – охладителя. Ее параметры определялись:

- необходимостью иметь короткий сгусток частиц в накопителе – охладителе;
- обеспечением ВЧ системой устойчивости когерентных колебаний частиц;
- кратностью выбранной частоты частотам ВЧ систем других установок, входящих в комплекс;
- ориентацией на доступный высокочастотный генератор.

Перечисленные требования определили частоту ВЧ накопителя, равную  $\Gamma_{вч} = 700$  МГц. Эта частота позволяет достаточно просто синхронизовать инжекцию в накопитель – охладитель из форинжектора и выпуск частиц из накопителя – охладителя в Ф и С-TAU фабрики, ВЧ системы которых также предполагается выполнить на частоту 700 МГц.

Система высокочастотного питания накопителя – охладителя включает в себя промышленный клистрон КЧ-393 мощности 100 кВт на частоте 700 МГц, соленоид для фокусировки пучка в клистроне, высоковольтный выпрямитель 30 кВ, волноводный тракт,

циркулятор и резонатор с демпфированием высших мод. Одновременно эта система является прототипом модуля ВЧ систем Ф и С-TAU фабрик.

Научный руководитель — ст. науч. сотр., канд. техн. наук  
Г.И. Острейко

## АКУСТОЭЛЕКТРОНИИЙ ИНДИКАТОР ЖИДКОСТИ

А. А. Денисов

Казанский государственный технический университет  
им. А. Н.Туполева

Одним из перспективных методов индикации уровня жидкостей является ультразвуковой. Этот метод позволяет уменьшить размеры и массу индикатора уровня. Разработанный способ и устройство индикации уровня жидкости с размещением датчика в сосуде или его стенке основан на значительной разности величины затухания ультразвуковых колебаний и их акустических сопротивлений в воздухе и в жидкости.

Датчик, состоящий из пьезоэлектрического преобразователя, присоединен к генератору зондирующих импульсов, преобразует электрические колебания в механические. Эти колебания распространяются в сторону экрана, расположенного соосно и параллельно торцевой плоскости пьезоэлемента на расстоянии около 20 мм, отражаются от него и попадают обратно на пьезоэлектрический преобразователь, где снова преобразуются в электрические и регистрируются измерительной схемой. Если датчик находится ниже уровня жидкости, затухание упругих колебаний незначительно и измерительная схема сигнализирует о достижении уровнем определенного значения. Если датчик находится выше уровня жидкости, из-за значительных потерь интенсивность отраженных колебаний будет значительно меньше, и недостаточной для задействования измерительной схемы.

С целью повышения отношения амплитуды отраженного сигнала и реверберационной помехи оптимизированы частота ультразвуковых колебаний, размеры пьезоэлектрического преобразователя и конструкция датчика. В результате удалось увеличить

отношение амплитуды отраженного сигнала в случае нахождения датчика в жидкости и в воздухе более чем в 15 раз, и обеспечить устойчивую индикацию подъема жидкости с точностью около 5 мм.

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук В. Г. Сайткулов

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРАМИ

С.П. Мыльников

Новосибирский государственный университет

В ИЯФ СО РАН имеется большое количество источников питания для ускорительного комплекса. Большая часть источников на большие напряжения и токи построены на мощных тиристорах с использованием мостовой схемы преобразования. Для управления тиристорами существует несколько разновидностей систем управления. От систем управления требуются широкий диапазон управления, симметрия управляющих импульсов по фазам и достаточное быстродействие.

В мощных источниках питания, как правило, используется трехфазная мостовая схема преобразования. Идеальной системой управления по быстродействию является синхронная система, в которой управление ведется по всем трем фазам независимо. Но из-за различий в этих каналах управление фазами перестает быть симметричным. Эта несимметрия приводит к искажению формы выходных сигналов. Для того чтобы иметь полностью идентичные каналы, требуется производить множество настроек, что затрудняет эксплуатацию данной схемы управления.

Для симметризации схемы управления используется привязка к одной из фаз и последующий синтез сигналов управления для других фаз. Для работы трехфазной мостовой схемы требуется шесть одинаковых последовательностей импульсов, сдвинутых по времени на угол  $60^\circ$ . Для этих целей с помощью фазовой автоподстройки частоты синтезируется частота, превышающая частоту сети в 6 раз. При этом система фазовой автоподстройки частоты и система распределения импульсов должны удовлетворять целому

ряду условий для обеспечения устойчивой работы всей системы управления. Для симметризации сигналов по фазам используется цифровая схема.

Научный руководитель — ст. науч. сотр. В.Г. Попов

## ПРОГРАММА РАСЧЕТА ВОЛН В ЛИНИЯХ БЕЗ ПОТЕРЬ С ЧАСТИЧНЫМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ И ФЕРРОМАГНИТНЫМ ЗАПОЛНЕНИЕМ

А.Б. Пушной

Новосибирский государственный университет

Для анализа распространения ЭМ волн в продольно-однородных структурах, как в волноводах, так и в полосковых линиях, необходимо знать дисперсионные характеристики этих структур. В случае структур с частичным диэлектрическим и ферромагнитным заполнением распространяющиеся моды колебаний не являются ТЕМ модами и уже нельзя использовать методы расчета, применяемые для однородно-заполненных структур. В этом случае решение описывается двумя связанными между собой функциями  $E_z$  и  $H_z$ , т.е. задача становится векторной, в отличие от однородно-заполненных структур с ТЕМ волнами, где решение описывается одной скалярной функцией: либо полем  $E_z$ , либо полем  $H_z$ .

Вычислительная программа расчета волноводных мод колебаний в продольно-однородных структурах с частичным диэлектрическим и ферромагнитным заполнением основана на методе конечных элементов. Программа позволяет получить продольные компоненты волновых векторов, распределение электромагнитных полей, а также длину волны и волновое сопротивление в зависимости от частоты.

Научный руководитель — науч. сотр. Д.Г. Мякишев

## БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Д.Н. Скоробогатов

Новосибирский государственный университет

В Институте ядерной физики СО РАН для автоматизации физического эксперимента широко применяются шаговые двигатели. Разрабатываемый блок позволяет управлять одновременно четырьмя шаговыми двигателями по любому заранее рассчитанному закону. Траектория перемещения рассчитывается на ЭВМ и передается и блок в виде таблицы, после чего блок отработывает перемещение по заданному таблицей закону.

Конструктивно блок выполнен в виде модуля в стандарте КАМАК шириной 1М. На переднюю панель выведены разъемы для подключения силовых приводов шаговых двигателей и разъем для подключения к ЭВМ через последовательный интерфейс. Основным узлом блока является микроконтроллер МК51, который производит управление силовой частью в реальном времени. Обмен с ЭВМ может производиться через крейт-контроллер КАМАК или через последовательный интерфейс. В настоящее время аппаратная часть блока закончена, производится разработка программного обеспечения.

Научные руководители — ст. науч. сотр. Б. А. Баклаков, науч. сотр. А. Г. Чулка

## МЕТОДЫ РАСЧЕТА СВЯЗАННЫХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЙ

М. М. Титов

Сибирская аэрокосмическая академия

Связанные микрополосковые линии (МПЛ) в общем случае содержат плоский металлический экран и несколько параллельных металлических полосок, между которыми расположены слои магнитодиэлектрика.

В настоящей работе рассматриваются два подхода к расчету связанных МПЛ в квазистатическом приближении. Это вариационный метод расчета и так называемый метод Галеркина. Основное отличие данных методов состоит в различном выборе базисных функций (в Фурье-области) для разложения Фурье-трансформанты функции распределения заряда. Оба разложения должны удовлетворять условию Мейкснера на ребре, заключающемуся в требовании конечности энергии электромагнитного поля, запасенной в любом конечном объеме и окрестности ребра.

Вариационный метод расчета сводится к нахождению коэффициентов разложения функции распределения заряда, минимизирующих погонную плотность энергии. Разложение ведется по ортогональным полиномам Чебышева (с соответствующим весовым коэффициентом). Коэффициенты разложения получают, ограничиваясь конечным числом функций Чебышева при численном расчете.

В ходе расчетов возникает необходимость разбиения интервала интегрирования коэффициентов на три интервала: зона малых значений аргумента (используется разложение Тейлора подынтегрального выражения); зона непосредственного численного интегрирования до некоторой верхней границы (хорошо описываемой кубическим полиномом от порядка функций Бесселя) и зона асимптотического аналитического интегрирования оставшейся части. Данный метод дает хорошие результаты при достаточно узких проводниках (в силу конечности числа функций Чебышева).

В отличие от вариационного метода метод Галеркина связан с явным выделением постоянной составляющей функции распределения заряда, что является полезным при расчете достаточно широких проводников. Выделяя (как и в предыдущем методе) два главных члена разложения, получаем для коэффициентов четыре бесконечных ряда. Члены самого медленно сходящегося ряда имеют порядок  $(2n - 1)^{-2}$ , следовательно, относительная ошибка при аппроксимации бесконечного ряда конечной суммой из  $N$  слагаемых равна  $(5N)^{-1}$ , что вполне достаточно для большинства задач (использование асимптотических приближений отодвигает верх-

ную границу суммирования, тем самым еще более увеличивая точность вычислений).

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.  
В.В. Тюрнев

### МИКРОПОЛОСКОВЫЙ РЕЗОНАТОР СО СКАЧКОМ ВОЛНОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

М. М. Титов  
Сибирская аэрокосмическая академия

В данной работе на основе энергетического подхода исследован резонансный коэффициент связи  $k$  гантелеобразных микрополосковых резонаторов (МПР).

Для нечетных резонансов электрические длины (а следовательно, и резонансные частоты) данного МПР определяются соотношением:

$$\operatorname{tg} \Theta_2 \operatorname{tg} \Theta_1 = Z_2 / Z_1,$$

где  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$  — электрические длины первого и второго участков, а отношение  $Z_2 / Z_1$  характеризует величину скачка волнового сопротивления.

При наличии емкостного и индуктивного взаимодействия одновременно резонансный коэффициент связи имеет следующий вид:

$$k = \frac{k_L + k_C}{1 + k_L k_C}.$$

В случае одинаковых параллельных резонаторов, взаимодействующих по всей длине, емкостный и индуктивный коэффициенты связи:

$$k_C = \frac{E_{12C}}{E_L + E_C}, \quad k_L = \frac{E_{12L}}{E_L + E_C}.$$

Соответствующие энергии взаимодействия:

$$E_{12C} = - \int C_{12} U_1 U_2 dl, \quad E_{12L} = \int L_{12} I_1 I_2 dl.$$

Энергии отдельного резонатора:

$$E_C = \frac{1}{2} \int (C_1 + C_{12}) U_1^2 dl, \quad E_L = \frac{1}{2} \int L_1 I_1^2 dl.$$

В результате работы получены аналитические выражения, описывающие коэффициент связи двух гантелеобразных МПР (в приближении невзаимодействующих концов), а также проведен численный расчет вариационным методом.

1. Беляев Б.А., Тюрнев В.В. Исследование частотных зависимостей коэффициентов связи микрополосковых резонаторов. Препринт N 695 Ф, ИФ СО АН СССР. расноярск, 1991.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.  
В.В. Тюрнев

### СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТЫ ПРЯМОГО СИНТЕЗА В СТАНДАРТЕ КАМАК

М.С. Чайка

Новосибирский государственный университет

На сегодняшний день на установках ИЯФ применяются синтезаторы, построенные на основе цифровых петель ФАПЧ. С появлением микросхем, реализующих прямой цифровой синтез частот (DDS) стало возможным разработать синтезатор частоты с хорошими характеристиками, дополнительными возможностями и малыми габаритами. Доклад посвящен разработке синтезатора частот прямого синтеза в стандарте КАМАК. Синтезатор имеет два независимых канала с диапазоном частот 0 - 16 МГц и шагом перестройки 0.01 Гц. Для каждого канала выставляется амплитуда сигнала, частота и начальный сдвиг фазы. Ожидаемое время установления параметров сигнала менее 100 мкс. Амплитуда выходного сигнала составляет 0.5 В. Синтезатор имеет универсальное назначение и может быть использован в составе диагностической аппаратуры на электрофизических установках ИЯФ, ЯМР томографии и т.д.

Научный руководитель — Е.И. Шубин

# ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ВСТРЕЧ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНСТАНТ СКОРОСТЕЙ РЕКОМБИНАЦИИ БЫСТРО РЕЛАКСИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Е.В. Горелик

Новосибирский государственный университет

Среди разнообразных фотохимических реакций важнейшее место занимают реакции фотопереноса электрона. К этому классу реакций относятся и реакции переноса электрона между фотовозбужденным комплексом переходного металла и подходящим акцептором электронов. Особенностью этой системы является очень короткое время электронной спиновой релаксации комплексов. Характерные времена электронной спиновой релаксации составляют для комплексов рутения  $\approx 20$  пс, для ферроцена  $\approx 6-10$  пс. Таким образом, основным механизмом, вызывающим триплет-синглетные переходы в радикальной паре, является электронная спиновая релаксация. Внешнее магнитное поле вследствие ненулевой разницы g-факторов также дает вклад в синглет-триплетную эволюцию пары. Очевидно, что факторы, изменяющие скорость синглет-триплетной конверсии системы, будут влиять также и на константу скорости объемной рекомбинации, а следовательно, и на кинетику реакции на больших временах.

В работе [1] было теоретически рассмотрено влияние магнитного поля на геминальную стадию процесса, предметом же данной работы является теоретическое исследование гомогенных процессов в данной системе.

При рассмотрении реакций в жидкости большую роль, в отличие от газофазных реакций, играют повторные контакты радикалов. В работе [2] А.Б.Докторова была развита дифференциальная теория встреч, позволяющая получить кинетическое уравнение для усредненной по ансамблю одночастичной матрицы плотности с учетом повторных контактов. Однако дифференциальная теория встреч оказывается неприменимой при рассмотрении реакций релаксирующих частиц [3]. Киприяновым с соавторами [4] была предложена интегральная теория встреч, позволяющая учитывать быстрые релаксационные процессы.

В данной работе мы применили интегральную теорию встреч для нахождения бимолекулярной константы скорости объемной рекомбинации быстро релаксирующих частиц. Символьные матричные вычисления производились в среде "Mathematica". Получено аналитическое выражение для зависимости константы скорости объемной рекомбинации от времени электронной спиновой релаксации и напряженности внешнего магнитного поля, проанализированы предельные случаи.

1. Steiner U., Burbner D. Theoretical treatment of magnetic field dependent in-cage backward electron transfer during photooxidation of Ru(II) complexes, *Zeit. fur Phys.Chem.* 169, 1990. P. 159-180.
2. Doktorov A.B., The impact approximation in the theory of bimolecular quasi-resonant processes, *Physica* 80 A, 1978. P. 109-136.
3. Burshtein F.I., Lukzen N.N. Reversible reactions of metastable reactants, *J.Chem.Phys.* 103, 1995. P. 9631-9641.
4. Kipriyanov A.A., Doktorov A.B. and Burshtein A.I. Binary theory of dephasing in liquid solutions. I. The non-markovian theory of encounters, *Chem.Phys.* 76, 1983. P. 149-162.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук Н.Н. Лукзен

## СИНТЕЗ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ПЛЕНОК ИОННО-ЛУЧЕВЫМ МЕТОДОМ ИЗ СМЕСИ ГАЗОВ $CH_4 - H_2$

А.А. Дроздецкий, А.А. Шошин, А.Г. Скрипкин, С.Г. Сафонов  
Новосибирский государственный университет

Работа связана с проблемой получения углеводородных структур, физико-химические свойства которых могли бы быть использованы, например, в микроэлектронике (создание интегральных микросхем - интересные свойства: пленки с высокими диэлектрическими свойствами, с высокой радиационной стойкостью, ...); в создании антикоррозионных покрытий; как химически нейтральные покрытия для использования в медицине и т. д.

Свойства полученных ионно-лучевым методом пленок зависят от величины плотности потока осаждаемого вещества, энергии



частиц и их зарядового состояния. Транспортировку заряженных частиц можно осуществлять в магнитном поле, а за счет наличия градиента величины магнитного поля у подложки можно обеспечить сильную фокусировку пучка частиц. Для управления энергией частиц (контроль которой дает увеличение до 80%  $sp^3$  к  $sp^2$  гибрилиз. связей углеродных структур [1] в промежутке по энергии 22 ~ 120 эВ) нужен источник ионов с узкой функцией частиц в пучке по энергии.

Нами был создан источник низкоэнергетичных ионов (до 100 эВ) с узкой функцией распределения частиц в пучке по энергии ( $FWHM = 5 - 10$  эВ) [2], исследованы режимы транспортировки пучка в магнитном поле и его фокусировка на подложку.

Цель работы - получить углеводородные структуры ионно-лучевым методом в условиях сопровождения пучка ионов сильным магнитным полем из смеси газов  $CH_4 - H_2$  и исследовать свойства полученных пленок в зависимости от концентрации  $CH_4 - H_2$ .

Рабочие интервалы параметров: давление газов в рабочей камере  $8 \cdot 10^{-3} - 2,5 \cdot 10^{-2}$  torr, величина магнитного поля у поверхности подложки 450-480 мТл. Энергия осаждаемых ионов 20-100 эВ. Подложка - монокристалл Si(111); в экспериментах перед напылением подложка очищалась в HF. Время напыления 90 мин. Расстояние от накаливаемого катода источника ионов до подложки 3-10 см.

Исследованиями с помощью электронной микроскопии установлено, что при высокой концентрации  $CH_4$  (100%) на поверхности преимущественно образуется графитовая фаза, в отдельных случаях в виде нитевидных образований с развитой поверхностью, при меньших концентрациях  $CH_4$  поверхность гладкая.

Рамановская спектроскопия показала люминисценцию в диапазоне 800-2000  $cm^{-1}$ . Получены углеводородные пленки (спектры рентгеновского анализа), причем при определенных значениях параметров напыления получена пленка, в спектре которой есть особенности, характерные для  $\pi$ - структур C-связей ( $sp^2$ -гибридизация, графитовая фаза).

1. Lossy R., Pappas D.L., Roy R.A., ... //J. Appl. Phys. 1995. V. 77. N 9.P. 4750.

2. Дроздецкий А.А., Шошин А.А., Золкин А.С.. Источник низкоэнергетичных ионов с разбросом по энергии в пучке ионов 5-10

эВ//Сб. мат-лов 9 международного симпозиума "Тонкие пленки в электронике"

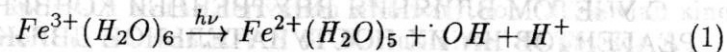
Научный руководитель — доц., канд. физ.-мат. наук А.С. Золкин

## ЛАЗЕРНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ФОТОЛИЗ $Fe_{aq}^{3+}$ И $S_2O_8^{2-}$ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ С ДОБАВКАМИ $N, N$ -ДИМЕТИЛФОРМАМИДА

К. Л. Иванов

Новосибирский государственный университет

Важное место среди реакций в природных водных системах занимают процессы с участием гидроксильного радикала. Считается, что важнейшим источником  $\cdot OH$  радикалов в природной воде являются фотохимические реакции комплексов трехвалентного железа, в особенности  $Fe^{3+}(OH^-)$  и  $Fe_{aq}^{3+}$ :



Однако вывод о возникновении  $\cdot OH$  радикала, как правило, делается на основе стационарных измерений. Для его обнаружения в импульсных фотохимических экспериментах необходимо использовать ловушку, в качестве которой предлагается  $N, N$ -диметилформамид (ДМФА). При импульсном фотолизе  $Fe_{aq}^{3+}$  с добавлением ДМФА возникает поглощение с максимумом на 380 нм, принадлежащее радикалу  $\cdot CH_2(CH_3)NCHO$ . Этот радикал может появиться при образовании  $\cdot OH$  радикала в реакции (1) и его взаимодействии с ДМФА (реакция (2)) или при прямом переносе электрона с ДМФА на возбужденный комплекс (реакция (3)).

