

ИТОГОВЫЙ СЕМИНАР
ПО ФИЗИКЕ И АСТРОНОМИИ

по результатам конкурса грантов 2007года
для молодых ученых Санкт-Петербурга

29 ноября 2007 года.

Тезисы докладов

Санкт-Петербург, 2007

Организаторы семинара

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Конкурсный центр фундаментального естествознания Рособразования

Санкт-Петербургский физико-технологический научно-образовательный центр РАН

Saint-Petersburg Chapter of Lasers and Electro-Optics Society (LEOS)

Организационный комитет

Соколовский Григорий Семенович (ФТИ), председатель

Азбель Александр Юльевич (КЦФЕ)

Когновицкая Елена Андреевна (ФТИ)

Кучинский Владимир Ильич (ЛЭТИ, ФТИ, LEOS)

Лосев Сергей Николаевич (ФТИ)

Устинов Виктор Михайлович (СПбФТНОЦ РАН)

Программный комитет

Аверкиев Никита Сергеевич (ФТИ), председатель

Кучинский Владимир Ильич (ЛЭТИ, ФТИ, LEOS)

Кучма Анатолий Евдокимович (КЦФЕ)

Новожилов Виктор Юрьевич (СПбГУ)

Рудь Василий Юрьевич (РосМУ, СПбГПУ)

Пихтин Никита Александрович (ФТИ, ООО «Эльфолум»)

Соколовский Григорий Семенович (ФТИ)

Устинов Виктор Михайлович (СПбФТНОЦ РАН)

Семинар является одним из заключительных отчетных мероприятий конкурса на соискание персональных грантов для студентов, аспирантов и молодых специалистов Санкт-Петербурга, организованного Администрацией Санкт-Петербурга, Министерством образования и науки РФ и Российской академией наук. Для участия в семинаре были приглашены победители конкурса 2007 года, набравшие высший рейтинг по результатам экспертизы.

Предисловие

29 ноября 2007 года в состоялся Итоговый семинар по физике и астрономии по результатам конкурса грантов 2007 года для молодых ученых Санкт-Петербурга. Такие семинары проводятся в девятый раз, начиная с 1997 года. Они посвящены подведению итогов конкурсов работ студентов, аспирантов и молодых ученых, проводящихся в рамках программы, организованной администрацией Санкт-Петербурга, Конкурсным центром фундаментального естествознания (КЦФЕ) Министерства образования и науки РФ и Российской академией наук. Задачей конкурса является выявление перспективных научных идей молодежи и финансовая поддержка лучших работ. Конкурс проводится для двух групп участников. В первой группе, называемой «Дипломные проекты», участвуют студенты старших курсов, а в группе «Кандидатские проекты» — аспиранты и стажеры-исследователи. Подобная структура конкурса, с одной стороны, обеспечивает максимальный охват научной молодежи, а, с другой, позволяет достаточно гибко осуществлять поддержку наиболее перспективных направлений исследований. Молодые ученые, недавно защитившие кандидатскую диссертацию, участвовали в специализированном конкурсе для данной категории научной молодежи — Конкурсе грантов для молодых кандидатов наук. Данный конкурс был направлен на поддержку молодых кандидатов наук, проводящих научные исследования в ведущих научно-педагогических коллективах Минобразования России и институтах Российской академии наук, расположенных на территории Санкт-Петербурга.

Традиционным местом проведения Итогового семинара является Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН и Санкт-Петербургский физико-технологический научно-образовательный центр РАН. В этом году организация Семинара стала возможной благодаря финансовой поддержке со стороны Санкт-Петербургского научного центра РАН.

В Итоговом семинаре 2007 года приняли участие около пятидесяти докладчиков из университетов и академических институтов Санкт-Петербурга. Следует отметить высокий уровень представленных работ, свидетельствующий о значительных научных успехах вузовской и академической молодежи. В программу включены как экспериментальные, так и теоретические работы по физике полупроводников, оптоэлектронике, молекулярной физике, физике полимеров и радиофизике. Как и ранее, в рамках Семинара прозвучали доклады по биофизике. Хорошо известно, что расширение научного кругозора молодых ученых и их знакомство с новыми идеями и научными направлениями в сочетании с применением аналитического подхода и экспериментальных методик, развитых в физике, не только способствует становлению молодых специалистов, но и дает мощный импульс для развития междисциплинарных исследований.

Начиная с 2006 года (одним из первых в стране), Организационный комитет Итогового семинара включился в работу по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (УМНИК) Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. В этом году, как и в прошлом, на Семинаре были определены победители в номинации «За научные результаты, обладающие существенной новизной и среднесрочной перспективой их эффективной коммерциализации», которые получают финансирование со стороны Фонда содействия для развития своих научных идей.

Как и в предыдущие годы, в организации семинара активнейшее участие приняли молодые сотрудники Физико-технического института им. А.Ф.Иоффе, энергия и энтузиазм которых обеспечили успех Семинара.

Председатель Программного комитета

профессор, доктор физ.-мат. наук Н.С. Аверкиев

Дипломные проекты

Разработка нового портативного масс-спектрометра с оригинальным мембранным интерфейсом

Власов С.А.

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН

Создание оригинального портативного масс-спектрометра с двойной фокусировкой по энергии и по углу, с использованием нового мембранного интерфейса с ионизацией электронным пучком непосредственно у поверхности мембраны.

Основная задача заключается в увеличении чувствительности масс-спектрометра по летучим органическим соединениям, за счет избирательных сорбционных свойств полидиметилсилоксановой мембраны, позволяющих накапливать соединения, обладающих высокой степенью растворимости.

Разработанный для масс-спектрометра интерфейс позволил совместить систему мембранного ввода и ионный источник в одной области, что дало возможность сделать систему очень компактной. Так же данная схема должна повысить эффективность ионизации образца, за счет того, что ионизация будет проходить непосредственно вблизи мембраны, это не даст успеть нейтральной смеси осесть на стенках системы.

Результаты настоящей работы представляют наибольший интерес для научных исследований в области: космических исследований, фармацевтики, экологии, медицины, а также для контроля технологических процессов в промышленности: металлургия, разведка и добыча полезных ископаемых.

Нелинейное затухание колебаний намагниченности в пленках железо-итриевого граната

Дроздовский А.В.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

В последние годы наблюдается интерес к изучению нелинейных колебательных и волновых процессов в ферромагнитных пленках, вызванный возможностью создания новых сверхвысокочастотных (СВЧ) приборов — нелинейных интерферометров, шумоподавителей, ограничителей мощности, активных кольцевых фильтров, нелинейных направленных ответвителей.

Целью данной работы являлось экспериментальное исследование нелинейного затухания колебаний намагниченности в пленках железо-итриевого граната (ЖИГ).

Измерения были проведены на макете пленочного ферромагнитного резонатора, выполненного по схеме “на проход”. Используемый в резонаторе образец пленки ЖИГ имел толщину 7 мкм, размеры в плоскости 1x1 мм², намагниченность насыщения $M_0=1750$ Гс. Пленка была выращена методом жидкофазной эпитаксии на подложке гадолиний галлиевого граната. Возбужде-

ние и прием колебаний намагниченности в образце проводились с помощью микрополосковых преобразователей шириной 50 мкм и длиной 2 мм, расположенных на расстоянии 2 мм друг от друга. Вся структура помещалась между полюсами электромагнита во внешнее однородное магнитное поле H_0 , приложенное по касательной к плоскости пленки ЖИГ вдоль преобразователей. Напряженность магнитного поля H_0 можно было регулировать в диапазоне от 870 Э до 1200 Э, что позволяло варьировать рабочие частоты резонатора в диапазоне от 4380 МГц до 5570 МГц.

Полученные экспериментальные результаты показали, что увеличение амплитуды колебаний намагниченности приводит к возрастанию потерь в резонаторе. Возникновение потерь носило пороговый характер. Так, для поля 1130 Э на частоте 5,3 ГГц при уровнях мощности сигнала ниже 3 дБм ширина резонансных кривых имела постоянное значение около 2 МГц. При уровнях мощности, превышающих 3 дБм, резонансная кривая становилась шире. Так, например, при уровнях мощности 10 дБм ширина резонансной кривой становилась равной 10 МГц, а при мощности 15 дБм - 13 МГц. Кроме того, при увеличении мощности наблюдалось смещение резонансных частот резонатора.

Таким образом нелинейное затухание колебаний намагниченности может оказывать существенное влияние на рабочие характеристики пленочных ферритовых приборов.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 05-02-17714), Федерального агентства по образованию РФ (проект РНП/2.1.1.1382), Федерального агентства по науке и инновациям и Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации (проект НШ-8860.2006.2).

Изучение структурной организации комплексов ДНК с негистоновым белком HMGB1 и гистоном H1

Кипенко И. Б.¹, Поляничко А.М.²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Институт цитологии РАН.

Структура хроматина играет важную роль при передаче и хранении наследственной информации. Известно, что следующий за наднуклеосомным уровнем структурной организации хроматина осуществляется в основном за счет негистоновых белков и гистона H1. Наиболее изученными и самыми многочисленными среди негистоновых белков являются белки, принадлежащие к классу HMGB белков, (*High Mobility Group*), обладающие высокой электрофоретической подвижностью. Одной из основных характеристик белков, содержащих HMGB-домен, является их способность изгибать молекулу ДНК и избирательно связываться с ее крестообразными структурами. Самым распространенным белком хроматина, принадлежащих к этому классу является белок HMGB1.

Целью данной работы является исследование надмолекулярной организации комплекса ДНК/H1/HMGB1. Особое внимание в ходе работы уделяется влиянию белок-белковых взаимодействий между молекулами H1 и HMGB1 на процесс компактизации молекулы ДНК в комплексе.

Известно, что в ядре оба белка HMGB1 и H1 связываются с одним и тем же линкерным участком молекулы ДНК, поэтому структурные аспекты их взаимодействия внутри одного комплекса важны как для понимания функций белка HMGB1 в хроматине, так и для понимания структурной организации самого ДНК-белкового комплекса.

В своей работе мы использовали методы электрофореза и УФ-КД. Нами была исследована зависимость электрофоретической подвижности комплексов от соотношения H1/НМGB1 (R) и белок-ДНК (r) в этих системах. Методом УФ-КД и УФ-поглощения были исследованы изменения, происходящие в структуре белков и ДНК при комплексообразовании, в зависимости от r и R в комплексе.

Анализ данных КД показал, что существует некоторое пороговое значение $r_{\text{пор}}$ (белок/ДНК) выше которого растворы комплексов обладают сильным светорассеянием, в силу чего исследование таких систем планируется проводить другими методами. Было установлено, что значение $r_{\text{пор}}$ зависит не только от r, но также от R и ионной силы раствора.

Интеллектуальный анализ нестационарных телеметрических сигналов на основе декомпозиции на эмпирические моды

Клионский Д.М.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Концепция интеллектуального анализа сигналов позволяет автоматически, базируясь исключительно на большом количестве данных (отсчетов сигнала), выдвигать гипотезы, основываясь на специально разработанных алгоритмах. Извлекаемые знания должны обладать рядом необходимых свойств: практической новизной и полезностью, нетривиальностью, возможностью дальнейшей интерпретации и эффективного применения. К числу важнейших задач интеллектуального анализа следует отнести сегментацию, кластер-анализ и классификацию сигналов. Сегментация представляет процесс в виде конечного набора фрагментов различной длины, обладающих однородными свойствами. Целью кластер-анализа является выявление сегментов, схожих по своим свойствам, и, следовательно, относящихся к одному кластеру (классу). Различают автоматическую кластеризацию и кластеризацию с начальными параметрами. Классификация необходима для определения значения некоторой зависимой переменной на основании известных значений других. В ее роли обычно выступает номер класса, к которому следует отнести конкретный сегмент.

Для создания модели сигнала в виде совокупности сегментов предлагается использование декомпозиции на эмпирические моды, или алгоритма Гильберта-Гуанга, в результате которой сигнал представляется набором определенных базисных функций – эмпирических мод. Главным преимуществом данного подхода является очень высокая степень адаптации к обработке нестационарных и нелинейных данных, включающей в себя несколько важнейших этапов: очистку от шума, выделение тренда среднего, экстраполяция, а также расчет итогового частотно-временного распределения Гильберта-Гуанга и его представление в виде цветовой контурной карты. Данное распределение также эффективно при определении видов модуляций в сигнале, частотных и временных диапазонов концентрации энергии, а также классификации процессов по особенностям рассчитанного спектра (динамике частотно-временных свойств, диапазоны концентрации энергии и т.д.).

Первый алгоритм сегментации основан на выявлении моды, являющейся наиболее устойчивой в найденном разложении. В качестве критерия устойчивости моды используется среднее время жизни всех ее интервалов монотонности, вычисляемое как отношение их суммарного времени жизни к общему количеству. Суммарное время жизни априорно равняется числу интервалов монотонности и увеличивается на 1 каждый раз, если данный интервал “выживает” на следующем уровне, т.е. сохраняются его монотонные свойства в пределах границ. В результате искомыми границами сегментов в сигнале считаются местоположения экстремумов наиболее

устойчивого (сглаженного) представления. Использование экстремумов обычно целесообразно при работе с медленно меняющимися процессами с чередующимися монотонными участками. Применительно к быстро меняющимся параметрам возможно также определение границ по нулям. Из-за краевых эффектов алгоритма и наличия шума границы могут смещаться, вследствие чего требуется их дополнительное уточнение с помощью дискриминирующих функций. Альтернативный алгоритм позволяет устанавливать границы сегментов, совпадающие с отсчетами максимумов функции ошибки, получающейся как разность исходного сигнала и его наиболее информативной моды (информативность по величине энергии, дисперсия, энтропия и др.).

На основе построенной модели сегментации проводится кластер-анализ. Как было сказано, возможно жесткое задание параметров кластеризации, использование автоматической процедуры (алгоритмы адаптивного выбора подклассов, максимизации ожидания и т.д.) или оптимизации разбиения с помощью различных функционалов качества (внутриклассовая дисперсия, межклассовое расстояние и т.д.). Результаты кластер-анализа в дальнейшем подвергаются дальнейшему исследованию с целью установления причин, обусловивших то или иное разбиение на классы.

Распределение плазмидной ДНК и экспрессия антигена в организме мыши при ДНК-иммунизации

Кулябина О.В., Мурашев Б.В.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

В настоящее время интенсивно разрабатываются технологии генотерапии и геновакцинации, связанные с применением рекомбинантной ДНК. Проблемами ДНК-технологии является недостаточное время присутствия молекулы ДНК в организме и низкая эффективность трансфекции клеток *in vivo*. Важной является адресность доставки. Данный подход позволит увеличить эффективность лечения и уменьшить количество плазмидной ДНК, требующейся для инъекции.

В работе использовались плазмидные ДНК рВМС*nef*, несущую ген *nef* ВИЧ-1 В субтипа, и рВМС*nef*IVS, также содержащую синтетический интрон. Наличие плазмидной ДНК тестировали PCR. Анализировали различные органы: мозг, сердце, кровь (лейкоцитарную массу и сыворотку), легкое, печень, почку, селезенку, мышцу (место укола), на наличие в них плазмиды в зависимости от времени после иммунизации. Было показано, что через 5 минут после введения плазмиды ДНК обнаруживается во всех анализируемых органах. При этом время, в течение которого ДНК выявляется, для разных органов различно. Так, легкое и мышца, имеющая самый высокий уровень ДНК вначале, показывают минимальное время детекции плазмиды. Далее по убыванию идут почка, печень, сердце, селезенка, клетки крови и мозг.

Анализ экспрессии белка *nef* при ДНК-иммунизации проводили, используя метод RT PCR. Иммунизацию проводили внутримышечно. Анализировали органы: мозг, печень, мышцу (место укола), на наличие в них мРНК *nef* в зависимости от времени после иммунизации. Было показано, что в месте инъекции, в мозге и печени происходит трансформация клеток и экспрессия гена *nef*. Экспрессия наблюдается на протяжении двух недель в мышце (месте инъекции), а в мозге – в течение 21 дня, а в печень – в течение 28 дней.

Через 8 недель после иммунизации плазида не детектируется ни в одном из анализируемых органов.

В опытах по электропорации использовали плазмиду рLacZHis, позволяющую экспрессировать последовательность гена бактериальной β-галактозидазы, слитого с доменом ядерной локали-

зации белка. Электропорацию проводили в икроножную мышцу левой лапы. На электроды подавали комбинацию высоковольтных и низковольтных импульсов. Высоковольтный импульс обеспечивал пермобилизацию мембраны, а низковольтный — электрофорез внутри ткани.

В процессе эксперимента варьировали амплитуды высоко- и низковольтных импульсов, длительность импульсов, количество импульсов и интервал между импульсами.

Контрольным животным плазида pLacZHis была введена внутримышечно инъекционным способом введения. Через 6 суток после электропорации была показана экспрессия β -галактозидазы в участке мышцы, непосредственно прилегающем к месту приложения электрода.

Выводы

1. При внутримышечном введении плазмидной ДНК происходит быстрое распространение плазмиды по организму.
2. Происходит трансформация клеток различных органов и экспрессия антигена в различных компартментах организма.
3. Электропорация *in vivo* обеспечивает трансформацию клеток.

Исследование ячеек энергонезависимой электрически перепрограммируемой памяти для автомобильной электроники с целью повышения их надежности

Миропольский С.М.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Электронные системы управления в современной электронике включают в себя функции индивидуальных настроек, которые необходимо сохранять при отключенном питании. Для таких настроек используются ячейки энергонезависимой электрически-перепрограммируемой памяти (FLASH, EEPROM). К энергонезависимой памяти в автомобильной электронике предъявляются повышенные требования по надежности и длительности работы, в том числе при повышенных температурах и больших электрических помехах. Исследования, направленные на повышение надежности изделий, являются своевременными и актуальными.

Целью данной работы являлось исследование характеристик ячеек энергонезависимой памяти с целью выявления основных механизмов утечек заряда из ячеек и повышения их надежности.

Тестовые образцы представляли собой опытные микросхемы FLASH-памяти, изготовленные по технологии 0.35 мкм с толщиной туннельно-тонкого подзатворного окисла 6-10 нм. При таких толщинах диэлектрика невысокие прикладываемые к нему напряжения приводят к появлению сильных электрических полей внутри ячейки и способны вызывать как необходимое для работы ячейки туннелирование зарядов через диэлектрик, так и повреждения и дефекты диэлектрика.

Для проведения исследований был разработан специальный аппаратно-программный комплекс, позволяющий проводить на тестовых образцах измерения потенциала плавающего затвора (хранящего в ячейке потенциала, определяющего состояние ячейки) для каждой ячейки в массиве памяти размером 256 тыс. ячеек с разрешением в 10 мВ. Используемая методика позволяет также сохранять данные о физическом расположении измеряемых ячеек в массиве памяти, что в совокупности с наглядными графическими средствами отображения измеренных данных позволяет выявлять как отдельные дефектные ячейки, так и структурные дефекты в массиве памяти, а также впоследствии проводить сравнительный анализ состояния измеряемых ячеек до и после приложения внешних воздействий.

На тестовых образцах были проведены измерения потенциала плавающего затвора при воздействии на него электрическими импульсами при программировании и стирании ячеек. По измеренным данным были определены оптимальные параметры программирования и стирания памяти, при которых информация надежно программируется в ячейки, а информация, записанная в соседние ячейки, остается неповрежденной.

Исследованы механизмы утечек заряда из ячеек памяти. Выявлено, что информация, записанная в ячейках в виде заряда, может быть повреждена не только внешними воздействиями, но и внутренними полями в ячейках памяти.

Наиболее важным является то, что малые напряжения, прикладываемые к ячейке при считывании информации, и сами по себе не способные повлиять на хранящийся в ячейке заряд, воздействуют на ячейку в совокупности с ее внутренними полями, создаваемыми хранящимся в ней зарядом. Таким образом, совокупное действие прикладываемых к ячейке напряжений и внутренних электрических полей способно привести к утечкам заряда из ячейки, и, соответственно, повреждению хранимой информации.

Показано, что причиной ускоренного саморазряда плавающих затворов на начальном этапе хранения заряда является не плохое качество ячеек, а схема устройства считывания информации. Изменение схемы усилителя чтения и, как следствие, улучшение условий считывания позволили увеличить ресурс безотказной работы ячейки памяти приблизительно на 30%.

Данная работа была выполнена в рамках конкурса грантов мэрии для студентов и аспирантов академических вузов Санкт-Петербурга. Результаты работы были доложены на международной конференции IEEE EuroCon'2007 (г. Варшава, Польша, 9-12 сентября 2007г.)

Исследование электродных слоев платины, применяемых в сендвич-варакторах и изопланарных линиях передачи

Дедык А.И.¹, Никитин А.А.¹, Сахаров В.И.², Серенков И.Т.²

¹ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

² Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

Сегнетоэлектрические пленки (СЭП) находят применение в различных областях электронной техники благодаря своим нелинейным физическим свойствам. Одним из наиболее эффективных направлений применения СЭП являются сосредоточенные (варакторы) и распределенные (линии передачи) управляемые компоненты сверхвысокочастотных (СВЧ) устройств.

В такой структуре управляющие электроды выполнены в виде тонких слоев металла – предпочтительно платины. Если толщина слоя платины много меньше толщины скин-слоя, то электроды становятся прозрачными для электромагнитной волны. Однако в такой структуре управляющие электроды не должны перекрываться, для того чтобы емкость слоистой структуры не достигала высокого значения, и быстродействие переключения параметров линии не снижалось.

Свойства управляющих платиновых электродов оказывают сильное влияние на формирование последующих оксидных слоев и на электрические параметры слоистых структур. Поэтому исследование особенностей формирования слоев платины является важной задачей совершенствования технологии слоистых структур, включающих сегнетоэлектрические пленки.

В данной работе приводятся результаты исследований электродных слоев Ti/Pt осажденных на подложку лейкосапфира $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (R-срезу) в процессе магнетронного распыления. В качестве методов исследования морфологии, структуры и состава слоев использовались электронная микроскопия и метод рассеяния ионов средних энергий (РИСЭ).

Входе анализа спектров РИСЭ, было обнаружено, что экспериментальный пик платины занижен относительно теоретического. С помощью математического моделирования было установлено, что ослабление сигнала от платины становится результатом наличия в ней примеси легких атомов, идентифицировать которые нельзя, из-за влияния подложки Al_2O_3 . Для определения состава и количества данной примеси использовались два метода. Первый – это использование в качестве подложки кремния с заранее известной низкоиндексной ориентацией. С целью уменьшить сигнал от подложки за счет каналирования, и тем самым обеспечить большее разрешение в области легких атомов, но оказалось, что каналирование в кремнии не происходит, а это может означать только одно, платина даже на толщинах порядка 10 нм способна очень эффективно рассеивать ионный пучок, отклоняя его от заданного низкоиндексного направления. Второй метод – это использование в качестве подложки материала, сигнал от которого не будет перекрывать сигналы примесей. Одним из таких материалов является бериллий. Использование бериллия в качестве подложки позволило определить, что основной примесью является кислород.

Результаты данных аналитических исследований сравнивались с результатами измерений электрических характеристик. В диапазоне ВЧ (1 МГц) использовались сегнетоэлектрические сэндвич-варакторы (измерялись их вольт-фарадные характеристики) и тонкие платиновые мостики. В диапазоне СВЧ (30 ГГц) измерения проводились путем определения коэффициентов передачи и отражения диэлектрического волновода с напыленным тонким слоем платины.

В результате было установлено, что увеличение толщины платинового электрода приводит к увеличению степени разнотолщинности пленки платины, что в свою очередь вызывает уменьшение емкости сэндвич-варакторов. Также на основе сравнительного анализа был найден технологический режим формирования электродных слоев платины с минимальным поверхностным сопротивлением.

Структура и свойства метафосфатных стекол системы $NaPO_3-Al(PO_3)_3$ по данным спектроскопии Релеевского и Мандельштам-Бриллюэновского рассеяния

Петухов А.А., Карапетян Г.О.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Интерес к стеклообразным редкоземельным фосфатам связан с интенсивным развитием таких отраслей науки и техники, как: волоконная оптика, квантовая электроника, оптоэлектроника, интегральная и силовая оптика.

Одним из главных вопросов при исследованиях стекол является вопрос об их микронеоднородном строении. Микронеоднородность стекол приводит к различию показателя преломления соседних микрообъемов (флуктуациям показателя преломления) и, как следствие, — к рассеянию света при условии, что размеры данных микрообъемов сравнимы с длиной волны света. Флуктуации показателя преломления можно разделить на флуктуации анизотропии, вносящие поляризующий эффект в рассеяние, флуктуации концентрации и плотности. Кинетика возникновения и рассасывания флуктуаций плотности в стекле определяется тремя процессами: распространением фононов, теплопроводностью и структурной релаксацией.

Существование флуктуаций всех видов приводит к возникновению рассеянного света на частоте падающего излучения. Исключение составляют флуктуации плотности, вызванные существованием фононов, которые проявляются в спектре рассеяния в виде двух пар сателлитов (мандельштам-бриллюэновские компоненты) с частотами, симметрично расположенными по обе стороны от частоты падающего света.

Оценка потерь, связанных с рассеянием света, проводится из спектров Релеевского и Мандельштам-Бриллюэновского рассеяния (РМБР) с помощью отношения Ландау-Плачека (частное от деления интенсивностей центральной и мандельштам-бриллюэновских компонент в спектре). Методы акустической спектроскопии посредством измерения дисперсии скорости звука в расплаве стекла позволяют оценить вклад в рассеяние флуктуаций плотности, кинетика возникновения и рассасывания которых определяется процессами структурной релаксации.

Структуры метафосфата натрия и метафосфата алюминия существенно отличаются. Ионы натрия разрывают мостиковые связи между фосфоркислородными тетраэдрами, образуя ионные связи с кислородом, и «разрыхляют» структуру. Алюминий, напротив, увеличивает связанность структуры, поскольку образует прочные донорно-акцепторные связи с немостиковыми атомами кислорода.

В ряду метафосфат натрия — метафосфат алюминия изменение структуры стекла приводит к увеличению средней силы связи между частицами, которая во многом определяет упругие свойства стекол, в том числе скорость гиперзвука. Следствием этого является линейный рост продольной скорости ультразвука при переходе от метафосфата натрия к метафосфату алюминия, данные о котором были получены из спектров РМБР. Увеличение связанности структуры с ростом концентрации метафосфата алюминия приводит к росту температуры стеклования и, соответственно, температуры синтеза стекол.

В результате измерения рассеяния света разных поляризаций было установлено, что, несмотря на меньшую связанность сетки фосфатных стекол по сравнению с силикатными и возможность существования ленточных и кольцевых структур, рассеивающие центры остаются столь же изотропными, как и в стеклах, имеющих трехмерный каркас с высокой степенью связности, поэтому флуктуациями анизотропии при рассмотрении светорассеяния можно пренебречь.

При увеличении концентрации метафосфата алюминия отношение Ландау-Плачека, а также вклады флуктуаций плотности и концентрации в светорассеяние растут, а значит степень микронеоднородности стекла увеличивается. По всей видимости, с ростом температуры синтеза вероятность процессов диспропорционирования увеличивается. В расплаве образуются ультра-, пиро- и ортофосфатные группировки, что не может не приводить к росту микронеоднородности образующегося при охлаждении стекла, о чем свидетельствует увеличение значения отношения Ландау-Плачека.

В пользу выдвинутой гипотезы свидетельствуют и данные о плотности и показателе преломления исследованных стекол. Как и следовало ожидать, с увеличением концентрации метафосфата алюминия происходит возрастание как плотности, так и показателя преломления. Однако, при концентрации метафосфата алюминия выше 80 мол.% на фоне увеличения показателя преломления плотность начинает уменьшаться. Судя по всему, вследствие активизации процессов диспропорционирования в данной области составов, возникают отличные от метафосфатов структурные образования, что приводит к уменьшению связанности структуры и, очевидно, плотности упаковки. Показатель преломления в матрицах фосфатных стекол определяется в основном поляризуемостью немостикового атома кислорода. Поскольку структура становится менее связанной, число немостиковых атомов кислорода увеличивается и, как следствие, показатель преломления возрастает.

Литература:

- [1] Карапетян Г.О., Максимов Л.В. Мандельштам-бриллюэновская спектроскопия стекла. - Физ. и хим. стекла, 1989, т.15, №3, с.345-365.
- [2] M. Goldstein, T.H. Davies. Glass fibers with oriented chain molecules.// Journal of the American Ceramic Society, vol.38, No.7, 1955.

Низкочастотная спектроскопия сверхпроводящих фотонных кристаллов

Поддубный А.Н.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Фотонные кристаллы (ФК), состоящие из металлических проволок, в последние годы являются объектом возрастающего научного интереса [1]. На низких частотах, в тера- и гига- герцовом спектральных диапазонах, вещественная часть диэлектрической проницаемости металлической компоненты велика по модулю и отрицательна, так что возможно образование полной двумерной фотонной запрещенной зоны. Однако, поглощение электромагнитных волн в металлах может негативно повлиять на потенциально полезные свойства металлических ФК.

Возможное решение этой проблемы — замена металлических компонент ФК сверхпроводящими (СП). В рамках модели Гортера-Казимира диэлектрическая проницаемость сверхпроводника описывается выражением

$$\varepsilon(\omega) = 1 - \omega_p^2 \left\{ \alpha / (\omega^2) + (1 - \alpha) / [\omega(\omega + i\gamma)] \right\},$$

где $\omega_p = (4\pi n_{tot} e^2 / m)^{1/2}$ — плазменная частота, соответствующая полной электронной плотности, m — эффективная масса и γ — феноменологическая константа затухания нормальной компоненты.

Доля СП компоненты $\alpha = n_s / n_{tot}$ зависит от температуры и внешнего магнитного поля, что позволяет контролировать оптические свойства ФК. Эксперименты [2] показали, что при переходе в сверхпроводящее состояние диэлектрические потери значительно снижаются, а края фотонных зон становятся резче.

В работе исследован двумерный фотонный кристалл, образованный сверхпроводящими цилиндрами. Оптические спектры и дисперсия фотонов рассчитаны как функция α . В спектральной области разрешенной зоны спектры осциллируют вследствие интерференционных эффектов. При $\alpha = 1$ поглощение отсутствует, и пиковые значения пропускания достигают единицы, переход из сверхпроводящей в нормальную металлическую фазу с $\alpha = 0$ сопровождается подавлением оптического пропускания из-за роста поглощения. Предложено приближенное аналитическое описание особенностей модификации спектров и дисперсии с изменением α [3].

Литература

- [1] A.L. Pokrovsky, A.L. Efros, Phys. Rev. Lett. **89** 93901 (2002).
- [2] M. Ricci, N. Orloff, S.M. Anlage, Appl. Phys. Lett. **87** 34102 (2005).
- [3] A.N. Poddubny, E.L. Ivchenko, Yu. E. Lozovik, arXiv:0709.0779v1.

Исследование структуры комплексов негистонового хромосомного белка HMGB1 с высокомолекулярной ДНК тимуса теленка

Родионова Т. Ю¹, Поляничко А.М.²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Институт цитологии РАН

HMGB1 – негистоновый белок семейства HMG, присутствующий в активном хроматине всех эукариот в значительных количествах (по разным данным одна молекула на 2-10 нуклеосом). На сегодняшний день нет четкого представления не только о выполняемых белком HMGB1 функциях, но и о механизмах его взаимодействия с высокомолекулярной ДНК *in vivo*.

Большая часть экспериментальных данных указывает на то, что HMGB белки связываются избирательно с отдельными участками хроматина; это связывание однако не зависит от последовательности ДНК, а определяется уникальной конформацией данной области. Поэтому одной из задач нашей работы является попытка подтвердить или опровергнуть уже имеющиеся данные.

В рамках работы проводились исследования структуры комплексов HMGB1 с высокомолекулярной ДНК тимуса телёнка. В качестве метода первичного анализа системы использовался метод гель-электрофореза. Полученные данные позволили построить зависимость электрофоретической подвижности комплексов от соотношения белок/ДНК в пробе.

Для исследования изменений в структуре белка и ДНК при образовании комплекса был использован метод УФ-КД. Было показано, что взаимодействие HMGB1 с ДНК сопровождается повышением степени α -спиральности ДНК-связывающего домена белка.

На основе анализа полученных данных мы предполагаем подобрать условия для образования упорядоченных надмолекулярных структур в комплексах ДНК с негистоновым белком HMGB1, изучение которых планируется проводить в дальнейшем.

Задача проектирования малогабаритных съёмных акселерометров с малым углом сдвига фаз между вынуждающей силой и выходным сигналом

Семенов К.К.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Цель работы заключалась в рассмотрении задачи проектирования датчиков ускорения с малым углом сдвига фаз между внешней силой, создающей вибрации, и выходным сигналом, теоретическом сравнении моделей. Отличительными особенностями устройств являлись возможность их съёма и малые габариты.

Частным случаем исследуемой задачи проектирования является создание точного массового расходомера, не требующего размыкания транспортной магистрали, что является весьма приоритетной задачей. Соответственно проблема общего проектирования устройств, близких по своим техническим и эксплуатационным параметрам, является актуальной для решения.

Очевидно, что конструкция датчиков ускорения с малым углом сдвига фаз должна обладать высокой первой собственной частотой f_1 . Справедливо замечание: чем более большое значение соответствует первой собственной частоте динамической системы, тем более пологой является фазочастотная характеристика последней на низких частотах, которые являются рабочей обла-

стью для механических систем. Значение величины f_1 и стремление сделать датчик малоуспокоенным являлись определяющими факторами для создания и отбора моделей акселерометров.

Другим принципом моделирования стало эмпирически наблюдаемое правило: чем более строгие условия накладываются на датчик, тем менее сложным должен быть принцип работы акселерометра. При разработке конструкции основное внимание уделялось простым структурам, образованным малым количеством составных частей. Предполагалось, что изделие будет работать под внешним кожухом без собственного корпуса.

Очевидно, что при соответствующей простоте строения датчика основной вклад в значение угла сдвига фаз между входной и выходной величинами вносят диссипация и преобразование колебательной энергии в стыке между элементами датчика (крепление и проч.) и несущей поверхностью. Соответственно этому положению был выбран метод расчёта и анализа, основанный на уравнениях движения Лагранжа II-го рода (далее - УДЛ). Метод УДЛ обеспечивает более простые вычисления по сравнению, допустим, с методом конечных элементов. Проведена рационализация УДЛ и построена достаточно простая схема приближенных вычислений для предварительных оценок ключевых параметров датчиков. Поскольку при возвращении во время проектирования на более ранние стадии при неудаче на каком-то этапе потребуются произвести снова уже выполненные действия, то желательно, чтобы расчёт оценок основных параметров изделия производился как можно скорее и точность последнего была адекватна неопределёностям входной информации технического задания. Представленный в работе способ быстрого обчёта динамических систем может найти применение и в других областях.

Помимо выполнения собственно расчёта искомых параметров устройства, были решены сопутствующие основной проблеме поиска оптимума подзадачи и выбраны материалы, удовлетворяющие по своим свойствам заданным условиям функционирования, и геометрия узлов акселерометра, отвечающая наибольшему значению собственной частоты f_1 .

Наиболее удачным по представленному критерию из проанализированного множества возможных реализаций датчика признан вариант, характеризующийся значением первой собственной частоты f_1 , оценочно равным 436, 0 кГц после оптимизации размеров.

Используемые в работе приёмы и методы могут быть обобщены на случаи решения задачи проектирования датчиков ускорения с малым углом сдвига фаз для различных вариаций исходного технического задания. Таким образом, получается выполнение необходимого условия формализации процесса для построения программного модуля автоматизированного проектирования для решения части исходной задачи создания датчиков ускорения с малым углом сдвига фаз.

Взаимодействие координационных соединений никеля с биологическими молекулами

Тветинская К.В., Поляничко А.М.

Санкт-Петербургский государственный университет

Изучение комплексных соединений никеля представляет не только теоретический интерес с точки зрения неорганической химии, но и имеет большое биологическое значение. Известно, что ионы никеля(II) образуют устойчивые комплексы с аминокислотами, оказывая таким образом влияние на многие биологические процессы. Особый интерес представляют координационные соединения никеля, в частности хлорид гексаамин никеля(II), способный образовывать устойчивые комплексы с различными биологическими макромолекулами. В последнее время получила признание точка зрения о доминирующей роли в биологических про-

цессах комплексов подобных соединений с белками. Связывание ионов никеля с такими лигандами осуществляется двояким образом: если взаимодействие с простым органическим соединением приводит к связыванию по одному или двум атомам, то в случае с биолигандами комплексообразование приводит к образованию множественных связей. Связывание с биолигандами дает более устойчивые комплексы, так как есть возможность к образованию водородных связей, четырех или трех членных циклов. Имея сходные химические свойства с известным биологически активным соединением гексаамином кобальта(II), комплекс никеля до сих пор остаётся менее изученным.

Как известно, наиболее устойчивое валентное состояние никеля в растворах – это Ni^{2+} , которое по праву считается одним из важнейших. Однако в последнее время растёт интерес и к комплексам, образованным никелем в других состояниях окисления. Способность никеля связываться с разнообразными лигандами представляет также интерес с точки зрения аналитической химии, в частности для гравиметрического анализа.

В ходе выполнения данной работы была предпринята попытка классифицировать связывание ионов никеля в различных степенях окисления как с неорганическими, так и с органическими лигандами. Особое внимание было уделено связыванию ионов никеля с биолигандами, в частности с α -аминокислотами. Было показано, что различия в поведении ионов Ni^{2+} и Ni^{3+} обусловлено различиями в электронном строении их комплексов. Октаэдрическая конфигурация комплексов на основе ионов Ni^{2+} , обеспечивает им стабильность в водных растворах. В большинстве случаев – это высокоспиновые парамагнитные комплексы лигандов слабого поля. В отличие от них, лиганды сильного поля обладают квадратной симметрией, которая в сильном поле обеспечивает дополнительное снятие вырождения с орбиталей d_z^2 и $d_{x^2-y^2}$ и приводит к понижению энергии системы в целом, стабилизируя комплекс. Энергетическая выгода спаривания e_g - электронов и перехода от октаэдрической конфигурации к квадратной тем выше, чем больше величина расщепления кристаллическим полем (или полем лигандов). Максимальная вероятность образования квадратных комплексов возникает, если используемый лиганд будет принадлежать к числу лигандов сильного поля. В водном растворе может также существовать комплексы на основе иона Ni^{3+} с лигандами слабого поля, образуя низкоспиновый комплекс, с тетраэдрически искаженной октаэдрической симметрией, что делает его менее устойчивым. Нами был проведён сравнительный анализ устойчивости различных комплексов, в зависимости от типа связанного лиганда. В ходе работы был также проведён макросинтез хлорида гексаамминникеля(II), в результате которого была показана зависимость окраски комплекса от вида лиганда и координационного числа металла. Тем самым была подтверждена возможность практического применения данного соединения для качественного экспресс-анализа по типу лиганда.

Кандидатские проекты

Изучение электрических свойств слоев кубического политипа карбида кремния (p-3C-SiC), выращенных на подложках 6H-SiC

Абрамов П.Л.¹, Лебедев С.П.¹, Лебедев А.А.²

¹ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

² Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Среди множества политипов SiC политип 3C-SiC отличается наибольшей подвижностью электронов, которая является одной из важнейших характеристик материала для производства приборов. Кроме того, 3C-SiC имеет кубическую решетку, и в силу симметрии, его физические свойства изотропны, в отличие от других политипов SiC. Промышленное производство подложек политипа 3C-SiC до сих пор отсутствует, поэтому единственным способом его получения является гетероэпитаксия на основе подложек из других материалов.

Методом сублимационной эпитаксии в вакууме (СЭВ) были выращены эпитаксиальные пленки политипа 3C-SiC на основе гексагональных подложек 6H-SiC. Для получения p-типа проводимости к источнику роста был добавлен алюминий. Подложки были n-типа ($N_D - N_A \approx 3 \div 6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$), выращенные слои имели концентрацию $N_A - N_D \approx 2 \div 8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и площадь 0.8 см^2 .

Были проведены исследования спектров фотолюминесценции и измерения эффекта Холла. Проведенные исследования электрических свойств эпитаксиальных слоев показывают, что энергия активации акцепторной примеси ($E_V + 0.06 \div 0.07 \text{ эВ}$) в этих слоях заметно ниже, чем значения, полученные из анализа спектров фотолюминесценции 3C-SiC:Al. По-видимому, это происходит из-за формирования акцепторного центра с меньшей энергией ионизации, которая не вовлечена в излучающие процессы рекомбинации, при концентрациях алюминия $\geq 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Анализ фотолюминесцентных спектров и температурных зависимостей концентрации носителей показал, что в изученных образцах присутствуют как минимум два акцепторных центра при $E_V + 0.25 \text{ эВ}$ и $E_V + 0.06 \div 0.07 \text{ эВ}$. В целом, исследования показывают, что методом сублимационной эпитаксии в вакууме можно изготовить эмиттеры p-3C-SiC.

Исследование структуры SiC/Si(111), полученной методом неравновесной гетероэпитаксии

Сорокин Л. М.¹, Кукушкин С. А.², Калмыков А. Е.¹, Веселов Н. В.¹,
Ситникова А. А.¹, Феоктистов Т. А.², Осипов А. В.², Щеглов М. П.¹

¹Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

²Институт проблем машиноведения РАН

Благодаря большой запрещенной зоне, высокой теплопроводности, значительной термической химической и радиационной стойкости, SiC рассматривается в первую очередь, как перспективный материал для силовой электроники. В то же время, карбид кремния обладает возможно-

стью кристаллизоваться в различных модификациях (политипах) имеющих одинаковый химический состав, но различные электрические параметры. Это делает карбид кремния интересным материалом и с точки зрения создания различных типов гетероструктур. Учитывая необходимость интегрирования карбида кремния в современную микроэлектронику, особый интерес представляет развитие методов гетероэпитаксии карбида кремния на подложках кремния. На сегодня наиболее успешными методами создания таких структур являются MBE и CVD методы.

В данной работе методом просвечивающей электронной микроскопии исследуются тонкие SiC-слои, выращенные на подложках кремния с ориентацией поверхности (111). Рост карбида кремния осуществлялся методом неравновесной гетероэпитаксии [1], который более доступен в реализации, экономичен и не предъявляет столь высоких требований к вакуумной системе в отличие от MBE и CVD методов. Электронно-микроскопическое исследование показало, что приграничная область состоит из карбида кремния различных политипов: 3C, 4H и 6H. Эта область насыщена дефектами упаковки. Верхний слой карбида кремния является монокристаллическим и однозначно идентифицируется как 3C-SiC (кубическая модификация). Поры в приграничном слое кремния, образующиеся в процессе роста на начальной стадии ростового процесса, уменьшают упругие напряжения на границе раздела SiC-Si и тем самым позволяют обходиться без буферного слоя при росте такой структуры. Измеренная полуширина кривых качания брэгговского отражения рентгеновских лучей для всех образцов составляет не более 30 угловых минут, что свидетельствует об ориентированном росте — плоскость (111) 3C-SiC || (111) Si.

Полученные результаты позволяют говорить о перспективности используемой технологии. Учитывая ее экономические преимущества в сравнении с другими аналогичными методами, делает ее конкурентоспособной для получения приборов на основе данных гетероструктур.

Литература

- [1] С. А. Кукушкин, А. В. Осипов, С. К. Гордеев, С. Б. Корчагина, Метод неравновесной гетероэпитаксии карбида кремния на кремнии, Письма в ЖТФ, т. 31, вып. 20, с. 6, 2005.

Электрически управляемый фазовращатель на основе многоцелевой линии для применения в фазированных антенных решетках

Белявский П.Ю.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Фазовращатели, основанные на СВЧ управляемых линиях передачи и сегнетоэлектрических пленках, разрабатываются в большом числе лабораторий. Этот тип устройств предназначен для электронных сканирующих антенн (ЭСА) и дешевых миниатюрных радарных систем миллиметрового диапазона длин волн. Сегнетоэлектрическая пленка $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (BST) осажденная на диэлектрическую подложку добавляет новые свойства щелевым и копланарным линиям передачи. Очень высокая диэлектрическая проницаемость ($\epsilon \sim 1000$) приводит к эффективному втягиванию электромагнитного поля в волноведущую структуру. Поэтому, замедление электромагнитной волны в такой структуре значительно превышает замедление в структуре, сформированной на обычной диэлектрической подложке. Сегнетоэлектрический слой на диэлектрической подложке можно рассматривать как тонкую пленку, так как ее толщина не превышает 1 мкм и частота составляет 24 ГГц и более. Во-вторых, рассматриваемая линия передачи позволяет управлять фазовой скоростью при изменении диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрической пленки.

Целью настоящей работы являлось изучение СВЧ передаточных характеристик проходного многощелевого фазовращателя на основе сегнетоэлектрической пленки, а так же диаграммы направленности для одиночного излучателя, построенного на его основе. Данный тип излучателя предполагается использовать при построении одномерной сканирующей антенны.

Нами был разработан оригинальный дизайн проходного МЩЛ фазовращателя с прозрачными для электромагнитного поля электродами. Такой тип электродов позволяет подводить управляющее напряжение к внутренним электродам МЩЛ и, при этом, они не являются помехой для распространения электромагнитного поля в линии передачи. Толщина "прозрачных" электродов значительно меньше скин слоя на заданной частоте (~ 50 нм для частоты 30 ГГц).

Для измерения СВЧ передаточных характеристик полученная МЩЛ структура помещалась в специальное устройство, представляющее собой секцию прямоугольного волновода, в котором есть возможность закрепить фазовращатель вдоль узкой стенки и приспособления для подведения управляющего напряжения. Затем измерительный макет подключался к векторному анализатору цепей.

Диаграмма направленности одиночного фазовращателя измерялась с помощью кругового держателя и измерителя СВЧ мощности. Моделирование одиночного излучателя дает результат в 63 градуса для H-плоскости и 120 градусов для E-плоскости. Экспериментальные данные достаточно хорошо соответствуют расчетным данным для Вивальди планарного излучателя. Можно заметить только небольшое увеличение излучаемой мощности при приложении управляющего напряжения в 200 В. Это можно объяснить уменьшением СВЧ потерь в сегнетоэлектрической пленке при приложении к ней электрического поля.

Информация, полученная при измерении одиночных излучателей, позволила смоделировать интерференционную диаграмму направленности нескольких излучателей. Нами разрабатывается антенна, состоящая из 10 МЩЛ фазовращателей-излучателей. Такой дизайн позволяет сформировать диаграмму направленности шириной ~6 градусов и угол сканирования до 180 градусов.

Свойства эпитаксиальных слоев GaInAsPSb выращенных на подложках GaSb и InAs

Гагис Г.С.¹, Кучинский В.И.^{1, 2}, Васильев В.И.¹

¹ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

² Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Пятерные твёрдые растворы *GaInAsPSb* являются перспективным материалом для изготовления оптоэлектронных устройств среднего ИК-диапазона (2-5 мкм), необходимых в области экологического экспресс-мониторинга и в медицине. Преимущество пятерных твёрдых растворов состоит в наличии трёх степеней свободы, что позволяет при сохранении изопериодичности эпитаксиальных слоёв и неизменной ширине запрещённой зоны управлять ещё одним параметром, зависящим от состава, таким как показатель преломления, величина спин-орбитального отщепления и т.д; либо подбирать составы твёрдых растворов с оптимальным сочетанием этих параметров. Это позволит улучшить характеристики оптоэлектронных устройств по сравнению с теми, что изготавливаются на основе аналогичных четверных твёрдых растворов.

Особенность систем твёрдых растворов A^3B^5 содержащих сурьму, состоит в наличии протяжённых зон несмешиваемости, в которых при равновесных условиях невозможно существование стабильных твёрдых растворов. Было установлено, что наличие упругих напряжений в слое повышает стабильность твёрдого раствора. В предыдущих работах нами были определены условия получения гомогенных твёрдых растворов *GaInAsSb*, составы которых соответствуют областям несмешиваемости. Упругие напряжения создавались в гетеропереходах, за счёт различия пара-

метров решёток сопрягаемых слоёв на небольшую величину (до 10^{-2} Å), однако, наличие упругой деформации в гетеропереходе накладывало ограничение на толщину эпитаксиального слоя, которая, согласно экспериментальным исследованиям, не должна превышать 50 нм.

В настоящей работе проведено исследование свойств пятерных твёрдых растворов $Ga_{1-x}In_xAs_yP_zSb_{1-y-z}$ с составами $x \in [0.9, 0.97]$, $y \in [0.7, 0.85]$, $z \in [0.01, 0.014]$, выращенных на подложках *GaSb* и *InAs*.

Нами было обнаружено, что при получении пятерных твёрдых растворов с толщинами, выше критической, процессы фазового распада происходят за счёт образования в основной матрице монокристаллических микрообластей твёрдого раствора с другим химическим составом (микрорекристаллитов, размерами порядка нескольких микрометров), имеющих прямоугольную форму. Размеры, пропорции и ориентация микрорекристаллитов для одного образца примерно одинаковы. Спектры фотолюминесценции образцов с кристаллитами имели несколько полос, кривые дифракционного отражения – несколько пиков. Это говорит о том, что кристаллиты имеют параметр решётки и ширину запрещённой зоны, отличные от таковых у основной матрицы.

Исследование эффекта локального переключения проводимости в CuPc пленках методами сканирующей зондовой микроскопии

Гущина Е.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

В последнее время исследования тонких пленок органических соединений, обладающих металлическими и полупроводниковыми свойствами, идут с нарастающей активностью[1]. Среди органических полупроводников наиболее высокие подвижности носителей проявляют металлокомплексы фталоцианинов (MPc), которые, в силу этого, рассматриваются перспективными материалами для использования в электронике. Обладая рядом особых свойств, фталоцианины находят применение в самых различных областях: фотовольтаические преобразователи[2], солнечные элементы, красители, фототерапия рака[3] и другие. Одним из наиболее изученных MePc считается фталоцианин меди (CuPc). Параметры солнечных элементов на основе тонких пленок CuPc пока еще не очень высоки (эффективность таких приборов 3%) и существенно зависят от проводимости пленок, связанной с устройством пленок на нанометровом уровне. В целом считают, что рабочие характеристики оптоэлектронных приборов и, в частности, солнечных элементов могут быть улучшены, если удастся управлять уровнем проводимости. Интересные возможности для решения такого рода задач предоставляет сканирующая зондовая микроскопия, позволяющая осуществлять диагностику локальных свойств MePc пленок[4].

В докладе рассмотрены результаты исследования структуры и локальной проводимости тонкой пленки CuPc, приготовленной вакуумным напылением на стеклянные подложки с проводящим слоем ИТО. Измерения проводились с помощью сканирующей зондовой лаборатории Интегра Аура (НТМДТ, Россия), оборудованной столиком для измерения сверхмалых токов растекания (0.03 до 100 пА), а также позволяющей вести работу в форвакуумных условиях. Нами также была исследована модификация локальных свойств пленки под действием силы давления зонда и напряжения зонд-образец (на воздухе и в форвакуумных условиях). Был обнаружен и изучен эффект переключения локальной проводимости. Оказалось, что он зависит от глубины форвакуумных условий, т.е. возможность создания хорошо проводящей области в вакууме имела некоторое ограничение (15 мбар). Это наблюдение позволило предположить механизм эффекта, связанный с наличием ионов OH⁻ на поверхности пленки.

Литература

- [1] Alan J. Heeger, *Reviews of Modern Physics* 73(3), 681-700 (2001)
- [2] S.Dhatni, D. Phillips, Comparison of the photophysics of an aggregating and non-aggregating aluminium phthalocyanine system incorporated into unilamellar vesicles, *Meived2SMay L996*; accepted IS June 1996.
- [3] В.Мелкова, А. А. Махова, Л. И. Рудая, Т. А. Юрре, В. В. Шаманин. "CuPc в фотоволтаических преобразователях энергии": СПбГТИ 2004.
- [4] M.Stukalov, A.E.Pochtenny, V.L.Mironov, S.V.Gaponov, D.G.Volgunov. *PLDS* 5/6 (2002) 121-127.

Разработка твердотельных микроохладителей и преобразователей энергии на основе сегнетоэлектрических материалов

Еськов А.В.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Физические явления в твердом теле, приводящие к тепловым изменениям и преобразованиям энергии активно исследуются с последние годы с целью разработки на этой основе энергетически эффективных охлаждающих и преобразующих твердотельных тепловых устройств. Существует ряд серьезных претензий к традиционным охлаждающим системам, которые связаны с низкой энергетической эффективностью, значительными габаритами, невысокой надежностью, наличием источников загрязнений окружающей среды. Для широкого круга технических отраслей и бытовых потребностей необходимы компактные, экологически безопасные, экономичные и надежные тепловые преобразователи и охладители, работающие как в комнатных условиях, так и области криогенных температур.

Среди разнообразных альтернативных технологий трансформаторов тепла, наибольший интерес исследователей и разработчиков привлекают возможности использования электрических и магнитных эффектов в твердотельных структурах. Интенсивные работы, посвященные магнитному охлаждению, ведутся во многих лабораториях и университетах Европы, США, Китая и России. Главное преимущество трансформаторов тепла основанных на использовании электрических или магнитных полей связано с высокой плотностью твердого тела по сравнению с плотностью пара или газа. Так как в данной конструкции в качестве хладоагента используется само твердое тело. Недавно полученные результаты для величин электрокалорического эффекта (изменение температуры в 12 градусов на сегнетоэлектрической пленке при воздействии сравнительно небольшого напряжения) позволяют сделать благоприятный прогноз развития данного типа охлаждающих устройств.

Основной принцип построения твердотельного охладителя заключается в приложении периодического электрического поля к сегнетоэлектрическим конденсаторам, приводящего к их охлаждению или нагреву. Квазиадиабатное и квазиизотермическое переключение электрокалорических элементов включенных в единую структуру в соответствии с тепловыми характеристиками материалов приводит к созданию направленного теплового потока и понижению температуры на одном из концов микроохладителя.

Предложенный принцип построения твердотельной охлаждающей линии, отличается от известных ранее отсутствием тепловых ключей между активными охлаждающими элементами, что обеспечивает непрерывность теплового потока вдоль структуры и высокие частоты переключения поля. Это способствует повышению эффективности принципа электрокалорического охлаждения и возможность интеграции данного микроохладителя в электронные системы и комплексы.

Построена математическая модель и проведено моделирование системы с одним и несколькими активными электрокалорическими элементами. Получен значительный эффект охлаждения не одним из концов охлаждающей линии. Предложена конструкция прототипа планарного радиального микроохладителя.

Влияние поверхностных состояний и размеров зерен на газочувствительность нанокристаллического диоксида олова

Землякова С.Ю.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Тонкие оксидные пленки широко применяются в качестве чувствительных элементов газовых сенсоров, которые используются для решения задач экологического мониторинга. Принцип действия адсорбционно-полупроводниковых газовых сенсоров основан на эффекте изменения проводимости широкозонных полупроводниковых оксидов *n*-типа электропроводности SnO₂, ZnO, In₂O₃ и др. при адсорбции и десорбции различных газов. В качестве материала сенсора используют наноструктурированные композиты, обеспечивающие увеличение поверхности газочувствительного слоя, улучшение условий адгезии и изменение условий адсорбции и, как следствие, избирательности сенсоров. Классическим сенсорным материалом является диоксид олова, так как он обладает рядом ценных свойств.

В поликристаллических образцах в зависимости от размеров зерен и толщины слоя механизм детектирования может протекать различными путями. В данной работе использовалась модель, согласно которой, материал сенсора состоит из отдельных зерен, находящихся между собой в механическом контакте. При этом на границах зерен существуют потенциальные барьеры, ток протекает по объему зерен, преодолевая потенциальные барьеры между зернами, а плотность тока определяется концентрацией электронов вблизи барьера и зависит от величины поверхностного заряда. Изменение зарядового состояния поверхности при уходе атомов кислорода с поверхности под воздействием восстанавливающего газа осуществляет изменение общего сопротивления сенсора. Указанная модель справедлива для сенсоров, полученных по толсто-пленочной и керамической технологиям, где при обычных температурах отжига сохраняется электрический контакт между зернами.

Чувствительность образца, характеризующая изменение проводимости материала при изменении зарядового состояния поверхности, существенно зависит от числа поверхностных состояний (ПС). Влияние размеров частиц, а следовательно, и числа поверхностных состояний на газочувствительность учитывалось с помощью расчета поверхностного потенциала зерна.

Расчеты показали, что оптимальный размер зерна, при котором чувствительность материала принимает максимальное значение, равен ширине области объемного заряда. При радиусе больше *w* чувствительность заметно уменьшается. Это можно объяснить тем, что изменение поверхностных состояний при адсорбции газа-реагента, сопровождающееся изменением толщины *w*, не вносит заметного вклада в общее сопротивление слоя, поэтому чувствительность к наличию газа в атмосфере низка. При *a* < *w* чувствительность также уменьшается, что связано с уменьшением значения поверхностного потенциала. Видно, что наиболее выгодно выбирать размеры зерен не больше, а меньше *w*, так как в этом случае чувствительность высока вследствие модуляции проводимости всего зерна.

Из проведенных исследований следует, что оптимизация чувствительных свойств активных элементов датчиков достигается формированием наноструктурированных материалов. При этом выбор материала, технологии изготовления датчика, а также концентрации донорных центров

должен осуществляться с учетом концентрации образующихся в процессе формирования материала поверхностных.

Использование явления муара для увеличения точности дифракционных методов контроля геометрических параметров объектов

Иванов А.Н

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

Целью данной работы является исследование способов увеличения точности дифракционных методов контроля (ДМК) геометрических параметров и пространственного положения объектов. Достоинством ДМК является их бесконтактность, высокая скорость измерения, возможность автоматизации измерительного процесса, конструктивная простота схем их реализации. Но применение ДМК ограничено их невысокой точностью, что связано с несовершенством существующих способов регистрации характерных точек дифракционных картин.

В работе предлагается использовать для освещения объекта два распространяющихся под углом друг к другу пучка когерентного излучения, что позволяет получить два смещенных относительно друг-друга частотных спектра. Изменение геометрической формы объекта приводит к изменению взаимного положения этих частотных спектров, что приводит к возникновению в дифракционной картине муаровых полос. Кроме этого, в соответствии с теоремой о сдвиге входного сигнала для преобразования Фурье, изменение геометрической формы объекта приводит к появлению разности фаз между частотными спектрами. Регистрация возникающих муаровых полос может осуществляться с помощью высокоточных методов, применяемых в интерферометрии. Проведенные расчеты показали, что контроль формы объекта по муаровой картине позволит уменьшить погрешность измерений до значения, не превышающего 0.5 процента, а чувствительность будет не ниже 0.1 мкм.

Предложенный метод был реализован с помощью "зеркальной" апертуры, образованной плоской эталонной отражающей поверхностью и контролируемым краем объекта. Деление падающего волнового фронта на зеркале позволяет реализовать требуемое условие освещения. Эксперимент показал, что отклонение контура края объекта от прямолинейного приводит к появлению в дифракционной картине муаровых полос. Выполненные расчеты позволили получить аналитическое выражение, описывающее распределение амплитуды от "зеркальной" апертуры в дальней области, и параметрическое уравнение муаровых полос, связывающее форму края объекта с шириной муаровой полосы. Их анализ показал, что появлению одной муаровой полосы соответствует изменение разности фаз между частотными спектрами на 2π , а сама муаровая картина может рассматриваться как муаровая картина умножения. Также была исследована схема, позволяющая получать муаровую картины вычитания, которая обладает удвоенной чувствительностью к отклонению геометрической формы объекта.

В ходе эксперимента с помощью "зеркальной" апертуры была восстановлена геометрическая форма режущей кромки бритвы, и полученные результаты были проверены с помощью микроскопа УИМ-23. Отклонения полученных результатов не превышали 1 мкм.

Рассмотренный метод может быть использован для контроля прямолинейности профиля кромок объектов, например лекальных линеек, различных диафрагм, ножей теневых приборов. Также его можно использовать для определения амплитуд вибраций и биений, исследования деформаций, измерения диаметров протяженных объектов типа волокон, нитей и проволок. Возможно

использование "зеркальной" апертуры для построения схемы дифракционного автоколлиматора, так как ширина муаровых полос зависит от угла падения волнового фронта.

Исследование механизмов роста и релаксации напряжений несоответствия в эпитаксиальных слоях PbTe(111) по данным атомно-силовой микроскопии

Канагеева Ю.М.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Повышение качества эпитаксиальных слоев является важной задачей для оптимизации характеристик полупроводниковых оптоэлектронных приборов. В работе [1] был обнаружен эффект повышения предела прочности и подвижности носителей заряда при проведении многократного термоциклирования гетероструктур PbSe/BaF₂/CaF₂/Si (111). Было предположено, что в процессе термоциклирования система стремится в равновесное состояние с образованием сети дислокаций. Кроме того, известно, что критическая толщина эпитаксиальных слоев, при которой начинается генерация дислокаций несоответствия, предсказываемая по теории Мэттьюза-Вандер-Мерве, заметно меньше, чем определенная по экспериментальным данным. Целью данной работы является детальное исследование топологии эпитаксиальных слоев PbTe(111) для изучения механизмов роста и релаксации механических напряжений. В работе проведены исследования топологии эпитаксиальных слоев PbTe (111) с помощью атомно-силовой микроскопии. В качестве подложек были выбраны Si с буферным подслоем CaF₂ и подложки BaF₂ (рассогласования параметров решеток 18, 9% и 4, 2% соответственно), кроме того, такие подложки наиболее часто применяют для создания приборных структур на основе халькогенидов свинца. Экспериментально было установлено, что на топографии структур PbTe/BaF₂ видны спирали роста. При этом высота практически всех ступенек соответствует высоте монослоя PbTe (111) (~3, 7 нм), а ширина ступеней примерно одинакова (230-270 нм), что хорошо согласуется с представлениями о спирально-послойном механизме роста и моделью Коссея и Странского с учетом влияния барьера Швёбеля. Кроме того, были обнаружены каверны диаметром ~ 300..500 нм, равномерно распределенные по всей поверхности слоев PbTe. Причины их образования рассматриваются в рамках модели о гигантских винтовых дислокациях [2] и др. На топографии структур PbTe/CaF₂/Si (111) обнаружены ступени, проходящие под углом 60° друг к другу. Такие ступени известны как результат релаксации напряжений на гетерогранице с образованием, последующем скольжением и выходом на поверхность дислокаций несоответствия в системе (100) <110>. Определено, что ступени на поверхности PbTe представляют собой систему из 1, 2, 3 монослоев. Также были обнаружены 30°-ступени, приводятся возможные механизмы их образования. Работа выполнена при поддержке программы «У.М.Н.И.К.» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Госконтракт № 4750р7011 от 15.01.2007г.).

Литература

- [1] Zogg H., Blunier S., Fach A. and others. Thermal-mismatch-strain relaxation in epitaxial CaF₂, BaF₂/CaF₂ and PbSe/ BaF₂/CaF₂ layers on Si (111) after many temperature cycles // Physical Review B, 15 October 1994, Vol. 50 № 15, P. 10801-10810
- [2] Pirouz P. On Micropipes and Nanopipes in SiC and GaN // Philosophical Magazine A, 1998, Vol. 78, № 3, P. 727-736.

Разработка методики определения размера и элементного состава когерентных нановключений в системе Ge/Si по данным просвечивающей электронной микроскопии

Кириленко Д.А., Ситникова А.А., Руколайне С.А.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

Численное моделирование электронно-микроскопических изображений когерентных нановключений показало качественную зависимость изображения от размера включения. Деформации, вносимые включением матрицу, пропорциональны третьей степени его размера, и таким образом, пренебрежимо малы для включений относительно малого размера. Контраст на изображении включения малого размера обусловлен главным образом различием экстинкционных длин материалов включения и матрицы. Более крупные включения создают значительные деформации, которые приводят к существенному искажению изображения. При этом, если размер включения не превышает некоторого предела, его изображение представляет из себя два пятна. Диапазон подходящих размеров определяется следующим, подтверждённым численными расчётами, неравенством:

$$0.5 < egD < 1.5$$

Где e — относительный параметр несоответствия, g — модуль вектора дифракции, D диаметр включения.

Таким образом, для случая темнопольного изображения включения Ge в Si, полученного в отражении {111} двухпятенное изображение будет появляться, если диаметр включения лежит в диапазоне от 4 нм до 11 нм.

Также, было показано, что расстояние между максимумами контраста равно диаметру включения. То есть, несмотря на размытость изображения из-за деформаций, размер включения можно определить без потери в точности. Важно, что это имеет смысл, только если включение изображается двумя пятнами, что, как показано, накладывает ограничения на его размер.

Был исследован массив квантовых точек и построена гистограмма распределения включений по размерам. Также, для сравнения, была построена гистограмма, но используя метод определения размера включения на основании визуальной оценки ширины изображающих его пятен. Это показало, что обычно используемая на практике визуальная оценка завышает средний размер включений примерно на треть.

Определение элементного состава по интенсивности изображения может быть проведено при условии определения глубины залегания включения в плёнке и её толщины, а также параметра отклонения от брэгговского условия. Значительное количество параметров и сильное влияние глубины залегания на интенсивность изображения, приводит к значительной погрешности в определении элементного состава. Вероятно, в отношении определения концентрации более перспективным является электронная микроскопия высокого разрешения. Тем не менее, методика, использующая темнопольные изображения, позволяет определять усреднённую по массиву квантовых точек величину, что даёт возможность избежать определения глубины залегания.

Создание WGM лазеров для среднего ИК диапазона

Кислякова А.Ю.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

В последнее десятилетие большое внимание уделяется созданию и исследованию полупроводниковых лазеров, излучающих в пределах 2-4 мкм, на основе узкозонных полупроводников InAsSb. Актуальность исследования данного диапазона обусловлена тем, что в нем находятся характеристические линии поглощения значительного числа промышленных и природных газов, таких как метан, углекислый газ, окислы азота.

До настоящего времени не создан лазер среднего ИК диапазона, работающий при комнатной температуре и пригодный для массового производства, хотя потребность в таких приборах достаточно велика. Основной физической проблемой, не позволяющей до настоящего времени создать лазеры, работающие при комнатной температуре в этом диапазоне, являются существенные оптические потери в узкозонном материале активной области. Для устранения этого недостатка необходимо развитие новых технологических и физических подходов к созданию лазеров.

В представленной работе была предложена и реализована новая конструкция лазера для данного диапазона. Ее принципиальной особенностью является использование кольцевого резонатора в виде диска, рабочей модой которого является так называемая «мода шепчущей галереи» (WGM- whispering gallery mode). Теоретические и экспериментальные исследования WGM лазеров показали, что приборы на основе кольцевых резонаторов являются устройствами с существенно более высокой добротностью по сравнению с обычными лазерами среднего ИК диапазона.

Нами были созданы WGM лазеры, излучающие в среднем ИК диапазоне на основе двойных гетероструктур InAsSb при температурах до 150 К.

Проведено математическое моделирование процессов распределения плотности тока в круглой мезе. Экспериментально исследованы спектральные зависимости лазеров диаметром от 75 до 400 мкм, работающих на длине волны порядка 3 мкм [1]. Установлено, что приборы данного размера работают в квазиодномодовом режиме и по температурным характеристикам существенно превосходят стандартные полосковые лазеры, сделанные из того же материала.

Таким образом, проведенные при температурах выше 77 К, исследования лазерных диодов с дисковым резонатором позволяют говорить о перспективности таких лазерных устройств. Нами показано отсутствие принципиальных ограничений на функционирование таких приборов при комнатной температуре. Основные усилия в настоящее время направлены на работы по выращиванию двойных гетероструктур на основе InAsSb, созданию дисковых резонаторов и оптимизации вывода излучения из таких структур с целью повышения рабочей температуры лазеров до комнатной.

Литература

- [1] В.В. Шерстнев, А.М. Монахов, А.П. Астахова, А.Ю. Кислякова, Ю.П. Яковлев, Н.С. Аверкиев, G. Hill, A. Krier. *Полупроводниковые WGM лазеры среднего инфракрасного диапазона*. Физика и техника полупроводников. 2005, том 39, № 9.

Синтез и исследование структуры феррожидкостей с порфиринами и их возможное применение в фотодинамической терапии

Кульвелис Ю.В.

Санкт-Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова РАН

Одним из наиболее эффективных отечественных препаратов в фотодинамической терапии (ФДТ) онкологических образований является фотодитазин, разработанный в 1998 году на основе глюкаминовой соли хлорина e_6 в качестве фотосенсибилизатора для лечения целого ряда опухолей (рак кожи, рак щитовидной железы, злокачественные опухоли головного мозга и др.) [1].

По клинической эффективности, отсутствию побочных эффектов, скорости выведения из организма фотодитазин превосходит другие отечественные сенсибилизаторы (фотогем, фотосенс), однако на практике остаются нерешенные проблемы, в основном связанные с недостаточным контрастом накопления рабочего препарата в злокачественных клетках по сравнению с нормальными.

Для повышения контраста злокачественное образование/здоровая ткань в данной работе исследовалась возможность управляемой (внешним магнитным полем) транспортировки и концентрации фотодитазина, локализованного на частичках феррожидкости, вблизи злокачественного образования. Разработаны магнитные жидкости на водной основе с использованием фотодитазина в составе веществ, стабилизирующих магнитный коллоид в диапазоне 20–50 °С, включающем физиологические температуры, а также повышающих его устойчивость в статическом магнитном поле.

Методом малоуглового рассеяния нейтронов исследовались различные способы локализации фотодитазина на наночастицах феррожидкости. Для повышения эффективности и биологической совместимости препарата (фотодитазина) в феррожидкости вводили третий компонент – плуроник (тройной блок-сополимер этиленоксида и пропиленоксида). Плуроники используются в фармацевтике и медицине, облегчают проникновение лекарств через биологические барьеры, увеличивают накопление ряда противораковых антибиотиков в опухолевых клетках. В работе [2] установлено, что в системах, моделирующих процесс ФДТ, фотокаталитическую активность фотодитазина можно модулировать при использовании ряда плуроников, а также предложен способ увеличения фотоиндуцируемой токсичности фотодитазина в сеансах фототерапии *in vitro*. Метод заключается в одновременном добавлении фотодитазина и некоторых плуроников, использующихся в заведомо нетоксичных концентрациях, к опухолевым клеткам.

Полученные наноконплексы феррочастиц с фотодитазином при воздействии на культуры опухолевых клеток показали высокую эффективность, которая увеличивается при введении плуроника в комплекс, и могут быть использованы при создании магнитоуправляемого препарата для ФДТ.

Литература

1. <http://fotoditazin.ru/>, <http://veta-grand.narod.ru/>
2. Жиентаев Т. М., Аксенова Н. А., Мелик-Нубаров Н. С., Соловьева А. Б. Влияние плуроников на фотоиндуцированную токсичность фотодитазина // Четвертая всероссийская каргинская конференция "Наука о полимерах 21-му веку", Москва, МГУ, 29 января–2 февраля 2007, тезисы, т. 2, с. 383.

Электромагнитно индуцированная прозрачность в ячейке с антирелаксационным покрытием стенок

Литвинов А.Н.¹, Казаков Г.А.², Матисов Б.Г.²

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

²Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Электромагнитно индуцированная прозрачность и связанный с ним эффект когерентного пленения населенности (КПН) представляет собой возникновение в многоуровневой квантовой системе, взаимодействующей с многокомпонентным лазерным излучением, суперпозиционного состояния, не взаимодействующего с этим излучением. Такой эффект находит широкое применение в различных приложениях таких как: пленение ионов, хранение и замедление света, создание устройств для записи квантовой информации, разработка атомных часов, магнитометров, спектроскопия сверхвысокого разрешения, лазерное охлаждение и т.д. Более того, ЭИП принадлежит к фундаментальным физическим явлениям, имеющим место в различных средах и в широком диапазоне частот возбуждающих полей.

Важнейшим параметром, характеризующим КПН резонанс, является параметр качества, зависящий от амплитуды, ширины и контраста резонанса, которые в свою очередь определяются условиями, при которых происходит возбуждение атома. При возбуждении резонанса существенное значение имеет время когерентного взаимодействия атома с лазерным полем. Другими словами существенным препятствием увеличения времени когерентного взаимодействия является релаксация атомной поляризации на стенках ячейки.

Существуют различные способы увеличения времени когерентного взаимодействия атома с электромагнитным полем. Одним из таких способов является введение буферного газа. Буферный газ, превосходящий на несколько порядков концентрацию активных атомов, в своём роде локализует активные атомы (уменьшает их длину свободного пробега, эффект Дикке [1]), что препятствует их релаксации атомной поляризации на стенках ячейки и между собой. Однако использование такого метода оказывает негативное влияние на параметры резонанса, а именно сдвигается и уширяется эталонный переход. Другим методом увеличения когерентного взаимодействия атома с электромагнитным полем является использование антирелаксационного покрытия стенок ячейки. Антирелаксационное покрытие значительно уменьшает релаксацию атомной поляризации (на 4-порядка) при соударении атома со стенкой ячейки, что приводит к увеличению времени когерентного взаимодействия атома с электромагнитным полем.

В настоящей работе теоретически исследовано формирование КПН резонанса в ячейке конечного размера с антирелаксационным покрытием и без него. Установлено, что существуют два различных механизма сужения КПН резонанса — механизм светоиндуцированного сужения [2] и механизм сужения Дикке. Механизм светоиндуцированного сужения проявляется только при использовании лазера с узким спектром ($\Gamma_L \ll k\nu_T$), и слабо зависит от размеров ячейки и типа стеночного покрытия, но в тоже время показано, использование источников лазерного излучения с широким спектром в сочетании с антирелаксационным покрытием стенок ячейки позволяет улучшить стабильность стандарта частоты примерно на порядок по сравнению с использованием лазера с узким спектром.

Работа поддержана грантом INTAS-CNES 06-100024-9321 и фондом некоммерческих программ "Династия".

Литература

[1] Dicke R.H. // Phys.Rev., 1953, **89**, P.472

[2] Feld M.S. and Javan A. // Phys.Rev., 1969, **2**, P.177

Магнитооптика движущихся экситонов

Литвинов А.Н., Кочерешко В.П.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

Обычно при исследовании магнитооптических свойств экситонов полагают, что магнитный момент (g -фактор) экситона определяется суммой магнитного момента электрона и дырки, а диамагнитный сдвиг определяется Боровским радиусом и они оба не зависят от движения центра масс (ЦМ) экситона. Однако учёт влияния движения центра масс (ЦМ) экситона может изменить и даже придать ему новые свойства. Первые эксперименты подтверждающие это были сделаны более 40 лет назад в работах [1, 2]. Несмотря на то, что исследования в этой области были начаты довольно давно, и в настоящий момент обнаруживаются новые фундаментальные явления, связанные с влиянием движения экситона на его магнитооптические свойства. Этому свидетельствует недавняя работа [3], в которой наблюдалось увеличение магнитного момента экситона с ростом его кинетической энергии (эффект MEM).

В последнее время с развитием технологии выращивания гетероструктур, в частности квантовых ям, расширились возможности исследований и в этой области. В квантовых ямах наблюдается эффект квантования движения ЦМ экситона [4], т.е. разным уровням квантования ЦМ экситона соответствует разная кинетическая энергия его движения, и чем выше номер состояния, тем больше кинетическая энергия экситона в этом состоянии.

В настоящей работе исследовались спектры отражения от структур с широкими квантовыми ямами ZnTe/ZnMgTe, CdTe/CdMgTe, GaAs/AlGaAs (ширина квантовой ямы значительно превосходит ширину Боровского радиуса экситона) в магнитном поле. Особенностью роста этих структур было то, что они имели разные рассогласования ям и барьеров в связи с чем реализовывалось три ситуации: 1) В ZnTe/ZnMgTe легкий экситон находится в основном состоянии, а тяжелый расположен выше по энергии, 2) В CdTe/CdMgTe тяжелый экситон находится в основном состоянии, а лёгкий расположен выше по энергии, 3) В GaAs/AlGaAs лёгкий и тяжелый экситон выращены.

На основании выполненных исследований можно заключить следующие выводы:

1) В геометрии Фарадея наблюдался эффект MEM на лёгком экситоне, а также наблюдалось уменьшение диамагнитного сдвига с ростом волнового вектора экситона. Такие особенности объясняются вкладом кубических по волновому вектору членов в валентной зоне. Таким образом, данную работу можно назвать первым определением величины кубических членов в валентной зоне, которые были определены с помощью двух независимых методов и составили: $\gamma_v a_2 = 3.42 \text{ nm}^3 \text{ eV}$ (из измерений роста g -фактора) и $\gamma_v a_2 \approx 5 \text{ nm}^3 \text{ eV}$ (из измерений диамагнитного сдвига).

2) В геометрии Фогта наблюдались следующие эффекты:

а) Эффект инверсии магнитного поля, заключающийся в различие спектров отражения для $+H$ и $-H$.

б) В магнитном поле в спектрах отражения проявлялся оптически неактивный экситон благодаря смешиванию оптически активного и оптически неактивного экситона.

Литература

- [1] D. G. Thomas and J. J. Hopfield Phys. Rev. 124, 657-665 (1961)
- [2] E.F.Gross, B.P.Zakharchenia, O.V.Konstantinov Soviet Physics. Solid State 3, 305, (1961)

- [3] J.J.Davies, D.Wolverson, V.P.Kochereshko, A.V.Platonov, R.T.Cox, J.Cibert, H.Mariette, C. Bodin, and C. Gourgon, E.V.Ubyivovk, Yu. P. Efimov, S. A. Eliseev Phys. Rev. Lett. 97, 187403 (2006)
- [4] V.A.Kiselev, B.S.Razbirin, I.N.Uraltsev Phys. Status Solidi B72, 161, 1975 and H.Tuffigo, R.T.Cox, N.Magnea, Y.Merle d'Aubigne A.Million Phys. Rev. B37, 4310, (1988)

Опико-электронная измерительная система на основе анаморфозы для мониторинговых наблюдений промышленных и энергетических установок

Мерсон А.Д.

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

Целью данного исследования является теоретическое исследование оптического датчика деформаций на основе явления анаморфозы.

Использование анаморфозного эффекта позволяет существенно сократить габариты и увеличить дальность действия системы.

Информация об угле скручивания определяется по степени искажения изображения марки заданной формы. Это возможно благодаря явлению анаморфозы, характеризуемому коэффициентом анаморфозы и заключающемся в увеличении или уменьшении угла расходимости проходящего анаморфозную систему пучка в некоторой плоскости с соответствующим уменьшением или увеличением поперечного сечения.

В процессе исследования был проведен математический анализ влияния оптических элементов системы на проходящий пучок излучения и разработана схема, позволяющая измерять не только угол скручивания, но и коллимационные смещения контролируемого объекта.

Применение модифицированных фуллеренами адсорбентов для очистки дизельного топлива от ароматических соединений

Никонова В.Ю., Самонин В.В., Подвязников М.Л.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

Деароматизация нефтяных продуктов может быть осуществлена с большей или меньшей степенью полноты различными способами, например, обработка серной кислотой, гидрогенизация, азеотропной и экстрактивной перегонкой, экстракцией растворителями, разделением адсорбентами и другими способами. Наиболее перспективным из них является экстракционный способ очистки, при этом в качестве поглотителей могут быть использованы активные угли, цеолиты и силикагели. Проведенные ранее исследования показывают, что наилучшими характеристиками (работа в статических и динамических условиях) обладают цеолиты марки NaX.

С целью повышения поглотительной емкости адсорбента были проведены эксперименты по нанесению на цеолит NaX микроколичеств фуллеренов. Для нанесения использовался экстракт фуллеренов C_{60} в количестве 2 мкг/г. Результаты проведенных исследований показывают, что модифицированный фуллеренами адсорбент имеет значительное преимущество по сравнению с исходным. При этом значительно увеличивается глубина очистки предельных углеводородов (остаточное содержание ароматических соединений уменьшается с 0,08 до 0%) Время защит-

ного действия адсорбента при этом увеличивается в 1, 5-2 раза, что доказывает перспективность использования фуллеренов в качестве модифицирующей добавки при проведении процесса очистки дизельного топлива от ароматических соединений.

Модификация свойств поверхности кремния острогофокусированным ионным пучком

Савенко А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Перспективным способом микропрофилирования полупроводниковых материалов и приборов является острогофокусированный ионный пучок [1]. Данным аналитико-технологическим методом могут решаться такие задачи как создание 2D и 3D микро- и нано- структур, исследование внутреннего строения микрообъектов в режиме растровой ионной микроскопии, коррекция геометрии полупроводниковых и микроэлектромеханических приборов, изменение токоразводки металлических шин.

Изменение свойств поверхности монокристаллического Si после воздействия фокусированным ионным пучком Ga⁺ с энергией 30 кэВ изучалось методами АСМ (атомно-силовой микроскопии), РСМА (рентгеноспектрального микроанализа), эллипсометрии, дифракции быстрых электронов и 4-х зондового метода.

Изготовление тестовых структур проводилось ионным пучком на установке Strata FIB 205, где ионы, ускоренные напряжением 30 кВ, фокусируются в пятно диаметром от 6 нм до 300 нм. Доза воздействия составляла от 0, 2 мкКл/см² до 0, 2 Кл/см² и определялась чувствительностью используемых методов исследования.

РСМА показал наличие галлия привнесённого ионным пучком на уровне, превышающем чувствительность метода (0, 1 ат. %). Измерения АСМ в ёмкостной моде показали увеличение приповерхностной концентрации носителей заряда до 5%. Дифракция быстрых электронов позволила определить появление аморфного слоя толщиной 50 нм. Шероховатость поверхности после обработки ионами была определена с помощью АСМ в режиме профилометра. Исследования эллипсометрии подтвердили эти результаты и дали дополнительную информацию о рельефности поверхности, показателю преломления и толщине модифицированного слоя.

Совместный анализ результатов показал возможность не глубокой имплантации галлия, требующей последующего отжига, возникновения дефектов в приповерхностной области, приводящее к её аморфизации, увеличению проводимости и увеличению рельефности поверхности. Данные изменения физических свойств кремния будут влиять на характеристики приборов, как полупроводниковых, так и функциональной электроники. Поэтому технология FIB является наиболее подходящей для проведения бесшаблонного травления поверхностных слоёв или модификации микроструктур к которым не предъявляются строгие требования по абсолютной бездефектности поверхности и отсутствию примесей.

Литература

- [1] Кузнецова М.А., Лучинин В.В., Савенко А.Ю. Сверхлокальное избирательное ионно-лучевое препарирование интегральных схем // Петербургский Журнал Электроники. № 3. 2006. С. 25–38.

Система управления учебным ЯМР-томографом

А.Н.Серегин, Неронов Ю.И.

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

Использование явления ядерного магнитного резонанса как средства для магнитного "внутри-виденья" было предложено в заявке на изобретение в 1960 году. На этом принципе разработаны ЯМР-томографы, которые являются наиболее дорогими приборами медицинской диагностики. Лучшие из них укомплектованы сверхпроводящими магнитами и изготавливаются рядом зарубежных фирм. Из-за высокой стоимости их число в России значительно уступает требованиям современного здравоохранения, и стоит задача о заполнении этого рынка отечественными приборами.

Работа любого ЯМР-томографа основана на выполнении следующих действий:

- a) Подача импульсов возбуждения на резонансную индуктивность. Это необходимо для поворота векторов намагниченности протонов, что и вызывает ядерный магнитный резонанс. Ширина импульсов должна быть порядка сотни микросекунд, временной промежуток между импульсами необходимо выдерживать постоянным с высокой точностью.
- b) Подача линейных градиентов магнитного поля. Это необходимо для выполнения частотно-фазового кодирования радиочастотного сигнала. Линейные градиенты формируются специальными катушками. Однако для управления ими необходимы высокочастотные импульсы, шириной порядка нескольких миллисекунд. Эти импульсы должны подаваться синхронно с запускающими импульсами.
- c) Считывание частотных и фазовых характеристик ЯМР сигнала. Кодированный радиочастотный сигнал необходимо получить, оцифровать и декодировать, получив изображение исследуемого объекта. При этом оцифровка должна идти с частотой дискретизации 44100 Гц.

В результате проведенной работы была спроектирована и макетирована система управления учебным томографом, соответствующая техническому заданию. Система разделена на две части: внешний блок, присоединяющийся к персональному компьютеру при помощи USB-кабеля, и программное обеспечение, установленное на этот персональный компьютер.

Внешний блок имеет один двухканальный вход для сигнала с томографа, 3 входа для программирования микроконтроллеров, 3 выхода на катушки для запускающего импульса и градиентных полей, а также USB выход для передачи параметров импульсов вводимых пользователем, а также для передачи оцифрованных данных на персональный компьютер.

При помощи программного обеспечения пользователь управляет градиентами, запускающим импульсом, а также получает результаты измерений посредством графического интерфейса (UI).

Программное обеспечение было разработано на языке C++ при помощи библиотек пакета Borland C++ Builder версии 6.0. Этот пакет был выбран из-за того, что он приспособлен для наиболее легкого и быстрого создания приложений, использующих windows-окна. Программу условно можно разделить на 3 части: графический интерфейс, блок связи с внешним устройством, блок обработки данных.

В описываемой работе была поставлена задача создания системы управления учебным ЯМР-томографом для последующего использования ее в учебно-образовательных, а также в исследовательских целях. В дальнейшем планируется добавить возможность получения трехмерных изображений. Предполагается, что данная разработка поможет в исследовании различных осо-

бенностей ядерного магнитного резонанса, а также их влияния на получаемое изображение объекта.

Золь-гель технология получения наноразмерных гибридных гадолиний - и борсодержащих пленок

Смирнова И. В.

Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН

Разработана золь-гель технология формирования наноразмерных силикатных и гибридных пленок, содержащих одновременно два диффузанта – бор и гадолиний. Использование этих пленок как источников диффузии для создания разделительных областей и стоп-слоев перспективно в цикле изготовления различных кремниевых приборов (датчиков расхода газов, газовых адсорбционных сенсоров, солнечных элементов). Так, формирование тонкостенной кремниевой мембраны (~2, 5 мкм) проводилось методом анизотропного травления после осуществления процесса высокотемпературной диффузии легирующих примесей бора и гадолиния. При этом необходимы диффузионные слои с максимально высокой концентрацией бора ($N_s \sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$). В золи, а затем и в пленки вводилось соединение гадолиния, поскольку Gd, вводимый одновременно с B, при легировании кремния, является примесью компенсатором, т.е. уменьшает деформацию кристаллической решетки полупроводника, повышая тем самым механическую прочность формируемой мембраны. Помимо соединений Gd в боросиликатные золи вводились органические добавки (низко- и высокомолекулярные полиолы). Использование последних позволило решить непростую, но крайне важную проблему увеличения толщины высоколегированных боросиликатных пленок без ухудшения состояния их поверхности. В результате с использованием разработанных золь-гель систем в кремнии воспроизводимо (от партии к партии) формировались диффузионные слои со следующими параметрами: поверхностная концентрация примеси бора $N_s \geq 5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$; поверхностное сопротивление $\rho_s = 3, 0 \pm 0, 5 \text{ Ом/см}^2$; глубина диффузионного слоя $x_j = 3, 5 \pm 0, 5 \text{ мкм}$.

Результаты исследования отражены в кандидатской диссертации, представленной в настоящее время к защите. Апробация результатов работы осуществлена в условиях чистых помещений гермозоны на базе ЗАО «Авангард-Микросенсор» (г. Санкт-Петербург) в цикле изготовления металл-оксидных газовых сенсоров на CO. Выход годных первичных чувствительных элементов с мембраной заключенных в корпус после испытания на механическую прочность достигал 100 %.

Работа поддержана грантом РФФИ (04-03-32509), грантом правительства Санкт-Петербурга (94/07), тремя грантами мэрии Санкт-Петербурга: для студентов и аспирантов (M05 – 3.6К – 190, M06 – 3.6К – 76) и молодых исследователей (за 2007 г.).

Протонпроводящие диэлектрики на основе силикофосфатных золь-гель систем

Цветкова И. Н.

Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН

Создание материалов с новыми, заранее заданными свойствами постепенно становится возможным на основе химических, коллоидных процессов. Многообещающими в этом отношении

являются процессы превращения золя в гель, а далее в твердое тело с определенными свойствами, на базе которых и разрабатываются принципиально новые золь-гель технологии. Можно констатировать, что золь-гель технология новое наукоемкое, перспективное направление в современном материаловедении и физике твердого тела, позволяющее в перспективе создавать продукцию высокого уровня, конкурентоспособную на современном мировом рынке. В качестве примера такой продукции могут служить мембраны топливных элементов с протонпроводящей нанофазой.

Протонпроводящие материалы, как и все полимерные электролиты, относятся к проводящим диэлектрикам. Их электронная проводимость ничтожно мала, тогда как ионная проводимость может достигать 10^{-2} См/см. Повышенный интерес к проводящим диэлектрикам связан, в основном, с их использованием в качестве протонпроводящих мембран топливных элементов, которые являются наиболее перспективными источниками экологически чистой энергии будущего. Существующие полимерные протонпроводящие мембраны не функционируют в наиболее оптимальном диапазоне температур работы топливного элемента (100–200°C), обеспечивающем максимальную эффективность платиновых катализаторов. Силикофосфатные мембраны, синтезированные золь-гель методом, позволяют преодолеть этот недостаток [4]. Однако, структура и диэлектрические характеристики составляющих их материалов изучены не достаточно. Известно, что такие материалы структурируются в виде фрактальных агрегатов.

Нами проведены исследования фрактальной структуры и диэлектрических свойств ряда силикофосфатных протонпроводящих диэлектриков, синтезированных при различном соотношении исходных соединений и углеродных депозитов в различном порядке их введения в реакционную систему.

Для установления характеристик исследуемых нанокомпозитов использован метод рассеяния рентгеновских лучей под малыми углами. Диэлектрические свойства были изучены с использованием диэлектрического спектрометра со спектральным окном 100 – 100000 Гц в температурном интервале -60 – 140°C.

Синтезированные образцы представляют собой пористые ксерогели на основе силикофосфатного каркаса, пропитанного смесью ортофосфорной кислоты и воды, допированные небольшим количеством алмазной фазы. Они обладают достаточно высокой протонной проводимостью (10^{-2} См/см) вплоть до 120eC и являются хорошей основой твердотельных протонных проводников для приготовления мембран топливных элементов, функционирующих в области так называемых промежуточных температур (100–200 °C).

Исследование особенностей облучения и их влияния на регистрацию алмаза в рентгенолюминесцентных сепараторах алмазосодержащего сырья

Чертов А.Н.

Санкт-Петербургский университет информационных технологий, механики и оптики

Цель проекта заключается в исследовании особенностей облучения потока материала – режимов возбуждения и параметров рентгенооптических схем (РОС) рентгенолюминесцентных сепараторов (РЛС) – и их влияния на процесс обнаружения и последующий алгоритм формирования признаков разделения алмазов и сопутствующих минералов.

Теоретический анализ возможных вариантов построения РОС показал, что наиболее эффективным с точки зрения чувствительности и селективности является использование импульсного режима возбуждения люминесценции и совмещенных зон возбуждения и регистрации свечения

образцов, что позволяет применять амплитудно-кинетический метод анализа с учетом длительности люминесценции, а также соотношения различных компонент свечения алмазов и сопутствующих им минералов.

Опробование созданной методики расчетов на РОС сепаратора ЛС-ОД-4-04Н показало высокую степень достоверности получаемых при помощи методики результатов. Так, значение величины потока излучения Φ , падающего на входное окно фотоприемника, при известных интенсивностях БК и МК люминесценции исследуемого образца и БК люминесценции воздуха, параметрах возбуждения и РОС совпадает с рассчитанным по методике в пределах одного порядка, что подтверждает ее функциональность.

Увеличение чувствительности РОС за счет уменьшения расстояния между РТ и потоком материала приводит к уменьшению равномерности возбуждения по ширине потока. В связи с этим кривая распределения интенсивности возбуждения по зоне анализа, наряду с функциями входа в зону и выхода из нее облучаемого образца, должна учитываться при расчетах поля чувствительности системы регистрации (СР) и параметров фотоприемных каналов ее опико-электронной схемы.

Резонансы в сечении фотоотрыва 2p-электронов от отрицательного иона Na^-

Яцышин П.И., Иванов В.К.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Целью работы является теоретическое исследование околопороговых резонансов в сечении фотоотрыва внутренних электронов от отрицательных ионов (ОИ). Ряд недавних теоретических и экспериментальных работ (см обзор [1]) показал, что поведение сечения фотоионизации в окрестности порогов внутренних оболочек ОИ существенно отличается от его поведения в нейтральных атомах. Основное отличие связано с появлением околопороговых резонансов, которые отсутствуют в нейтральных атомах. Кроме того, сечение фотоотрыва от ОИ более чувствительно к многоэлектронным взаимодействиям.

В представленной работе приводятся результаты конкретных *ab initio* вычислений сечения фотоотрыва 2p электронов от отрицательного иона Na^- ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^2, 1S$), для которого эксперимент обнаружил ряд резонансов в окрестности порога ионизации 2p оболочки [2]. Вычисления сечения фотоотрыва 2p электронов проведено как в одночастичном приближении Хартри-Фока (ХФ), так и с последовательным учетом многоэлектронных корреляций в рамках методов квантовой теории многих тел.

Основное внимание уделено описанию двух экспериментально наблюдаемых резонансов в сечении фотоотрыва: резонанса на пороге 2p-оболочки (~ 31-32 эВ) и широкого резонанса сразу за порогом в области 34-36 эВ. Как показывают наши расчеты, первый резонанс связан с возбуждением квазистационарного дискретного состояния "2p5 3s2 4s", лежащего сразу за порогом ионизации 2p оболочки. Второй резонанс определяется двухэлектронным процессом: фотоотрыв 2p электрона и одновременное возбуждение наружного 3s электрона на дискретное состояние 2p5 3s1 3p ер (е - энергия фотоэлектрона в сплошном спектре). Вычисления проводились в несколько этапов. На первом этапе определялись энергии и волновые функции основного и возбужденных состояний ОИ Na^- в приближении Хартри-Фока (ХФ) и проводился расчет сечения фотоотрыва, как в одночастичном ХФ приближении, так и в приближении случайных фаз с обменом (ПСФО), учитывающем внутриканальное и межканальное взаимодействия электронов. В результате этих подходов в рамках «замороженного» остова и с учетом релаксации

было получено общее поведение сечения фотоотрыва $2p$ электрона, которое, однако, оказалось нерезонансным.

Для резонанса в окрестности 31-32 эВ был проведен анализ поведения фазы вылетающего электрона с учетом поляризационного взаимодействия с остовом. Вычисления проводились путем решения уравнения Дайсона с потенциалом определенным во втором порядке теории возмущений [3]. Анализ фазы показал наличие квазистационарного связанного состояния на пороге ионизации. Далее, в уравнения ХФ для определения волновых функций вылетающего электрона был введен дополнительный статический потенциал, параметры которого подбирались таким образом, чтобы воспроизвести поведение фазы электрона в околопороговой области. С новыми волновыми «поляризационными» функциями вычислялось сечение фотоотрыва с учетом внутриоболочечного и межоболочечного взаимодействия и статической перестройки остова. Результаты около порога показывают резонансное поведение сечения и удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными [1]. Для описания резонанса в области 34-36 эВ помимо вышеназванных эффектов при фотоотрыве $2p$ электрона необходимо учитывать возбуждение наружного $3s$ электрона на дискретное состояние. Оказалось, что за резонанс ответственно состояние остова с конфигурацией $2p^5 3s 3p$. По теории возмущений рассчитывались амплитуды фотоионизации с возбуждением второго электрона в дискретное состояние. Однако без учета поляризационного взаимодействия сечение фотоотрыва $2p$ электрона имеет вид ступеньки, как при открытии нового канала. Аналогичные результаты были получены ранее при фотоотрыве $1s$ электронов от ОИ лития [1]. Только учет влияния динамического поляризационного взаимодействия остова на фотоэлектрон формирует резонансное поведение сечения фотоотрыва в окрестности 34-36 эВ.

Литература

- [1] V.K.Ivanov. "Theoretical studies of photodetachment". Radiation Physics and Chemistry, 2004. V. 70 (1-3), pp. 345-370.
- [2] Covington A. M., et al "Correlated processes in inner-shell photodetachment of the Na⁻ ion". // J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 2002. 34 №22, L735-L740.
- [3] V.K.Ivanov, G.Yu.Kashenock, G.F.Gribakin, A.A.Gribakina "2s, 2p photodetachment from the He-(4P0) negative ion within the Dyson Equation method". J.Phys.B: At.Mol.Opt.Phys. 29 (1996) 2669-2687.

Проекты молодых кандидатов наук

Мощные одномодовые поверхностно-излучающие лазеры ближнего ИК-диапазона

Блохин С. А.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

Полупроводниковые вертикально-излучающие лазеры (ВИЛ) являются одним из ключевых и наиболее бурно развивающихся направлений современной полупроводниковой оптоэлектроники. В настоящее время ВИЛ рассматриваются как наиболее перспективные полупроводниковые лазеры для применения в волоконно-оптических коммуникациях, для построения оптических межсоединений в перспективных высокопроизводительных вычислительных устройствах как гражданского, так и специального применения. Несмотря на очевидный прогресс и обширные исследования в данной области оптоэлектроники проблема управления модовым составом ВИЛ до сих пор остается нерешенной.

В рамках настоящего проекта были проведены всесторонние исследования двух наиболее перспективных методов подавления генерации/селекции поперечных мод высокого порядка: пост-ростового метода (ПМ), основанного на создании эффективного волновода в верхнем брэгговском зеркале, и ростового метода (РМ), основанного на применении системы связанных резонаторов и фильтрующей секции. Были разработаны адекватные оригинальные теоретические модели указанных подходов и определены основные конструктивные параметры, позволяющие эффективно управлять выходным излучением ВИЛ. На основе результатов теоретического моделирования была реализована серия экспериментальных прототипов одномодовых ВИЛ ИК-диапазона и проведено комплексное исследование основных оптико-электрических характеристик приборов.

Проанализирована эффективность и перспективность применения разработанных ростовых и пост-ростовых способов подавления генерации и/или селекции мод высокого порядка в ВИЛ. Выявлено, что для ПМ подхода главным фактором, лимитирующим максимальную выходную мощность в одномодовом режиме генерации, является эквивалентный размер сердцевинного эффективного волновода – оптической апертуры. Оптимизация размеров оптической и токовой апертур, а также контраста эффективного волновода (за счет уменьшения глубины травления) может существенно улучшить лазерные характеристики одномодовых приборов такого типа. Также показано, что с помощью РМ подхода можно реализовать селективный модовый фильтр с шириной окна пропускания менее 1.2 нм даже при повышенных уровнях тока инжекции. Следует отметить, что дальнейшая оптимизация профиля легирования и степени добротности СВФС-ВИЛ структуры позволит достичь стабильной одномодовой генерации в непрерывном режиме при больших размерах токовых оксидных апертур.

Разработанные ВИЛ продемонстрировали стабильную пространственно-одномодовую генерацию (коэффициент подавления боковых мод ~ 35 дБ, симметричная TEM_{00} диаграммой направленности) во всем диапазоне токов инжекции с выходной оптической мощностью более 3.8 мВт, низким пороговым током (0.9 мА) и низкой угловой расходимостью излучения (менее 7 градусов). Полученные научные результаты, несомненно, обладают большим потенциалом, и могут

быть использованы для развития российской технологии ВИЛ-приборов, и, в ближайшей перспективе, для коммерческого выпуска.

Синтез и исследование наноструктурированных композитов для высокочувствительных элементов газовых сенсоров

Грачева И. Е.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Загрязнение природы продуктами жизнедеятельности человека делает неотложной проблему контроля состояния окружающей среды. Для разработки газовых датчиков необходимо создание высокочувствительных сенсорных наноматериалов, обеспечивающих

экологическую безопасность страны и ее наукоемкий потенциал. Простота конструкции, низкая стоимость сенсоров на основе полупроводниковых нанокompозитов, имеющих большую площадь поверхности, при массовом производстве и возможность их интеграции в современные информационные системы делают перспективными их широкое внедрение в аппаратуру оповещения и мониторинга атмосферы.

В качестве технологического метода создания таких сенсорных полупроводниковых наноматериалов может быть использован золь-гель синтез, который относится к нанотехнологиям, обеспечивающим формирование функциональных наноструктур, начиная с молекулярного уровня. Возникая в виде фрактальных агрегатов, нанообъекты в процессе роста трансформируются в перколяционные сети, при этом, если поперечные размеры ветвей соизмеримы со значением дебаевской длины экранирования, газочувствительность электронных датчиков возрастает на несколько порядков. В работе разрабатывается золь-гель технология получения наноструктурированных газочувствительных сетчатых структур в системе на основе диоксида олова с управляемыми и воспроизводимыми геометрическими размерами проводящих каналов. Предложена модель, основанная на термодинамических представлениях об устойчивости золь-гель раствора в процессе полимеризации и описывающая изменения газочувствительных наноструктур на основе диоксида олова и диоксида кремния. На начальных этапах формирования нанокompозитов рост фрактальных структур требует активации, т.к. проходит в метастабильной области между бинадалью и спинадалью.

Уменьшение энтропии при развитии полимерного кластера приводит к спинодальному распаду с образованием перколяционного стягивающего кластера. Показано, что введение полупроводниковой каталитической добавки оксида индия в систему на основе диоксида олова позволило увеличить значения чувствительности нанокompозитов в 40 раз при воздействии восстанавливающими газами по причине увеличения количества центров зародышеобразования, которые предопределяли геометрию роста нанокристаллитов диоксида олова и оксида индия. Анализ структурных параметров полученных пленочных газочувствительных нанокompозитов на микро- и наноуровне проводился современными методами атомно-силовой и сканирующей микроскопии (на NanoLab NTEGRA), фазовый состав нанокompозитов исследован на порошках-гелях, полученных из исходных растворов-золей, методом рентгеновского фазового анализа, дифференциально-термического анализа, исследования свойств поверхности порошков-гелей осуществлялись с помощью прибора для измерения удельной поверхности дисперсных и пористых материалов серии СОРБИ (модификация СОРБИ N.4.1).

Влияние фазы отражения на характеристики широкополосковых гетеролазеров с искривлёнными штрихами решетки обратной связи

Дюделев В.В.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

Полупроводниковый широкополосковый (~100 мкм) лазер с искривлёнными штрихами распределённого брегговского зеркала (и-РБЗ), является весьма привлекательным источником когерентного излучения, так как обеспечивает фокусировку выходного излучения при сохранении одночастотной генерации [1, 2]. Как известно, фазовые эффекты, связанные с наличием отражения от торцов резонатора, оказывают значительное влияние на работу классических РОС и РБЗ лазеров [3] и при определённых условиях могут приводить к срыву одночастотной генерации. До настоящего времени при исследовании широкополосковых и-РБЗ лазеров не учитывалось влияние отражения от внешних плоских граней резонатора на их пороговые и спектральные характеристики. Настоящая работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию влияния фазовых эффектов на характеристики AlGaAs/GaAs лазеров с распределённой обратной связью с искривлёнными штрихами дифракционной решётки (и-РОС) и лазеров с искривлёнными штрихами распределённого брегговского зеркала (и-РБЗ), обеспечивающих фокусировку выходного излучения. Теоретические расчёты [4] показали, что для лучей, распространяющихся под углом к оси резонатора, фаза отражения зависит от угла распространения, что приводит к неоднородности распределения интенсивности на выходном зеркале и изменению спектра генерации. Поэтому учёт влияния фазы отражения при конструировании и-РОС/и-РБЗ резонатора будет играть ключевую роль для обеспечения спектрального и пространственного совершенства излучения таких лазеров.

Рассмотрена “асимметричная” конструкция и-РОС/и-РБЗ лазера, использование которой позволит устранить негативное влияние фазовых эффектов на пороговые и спектральные характеристики. Предметом дальнейших исследований станет создание прототипа асимметричного и-РБЗ лазера, обеспечивающего высокую мощность, одночастотную генерацию и фокусировку выходного излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Администрации С-Петербурга.

Литература

1. Yanson D.A., Rafailov E.U., Sokolovskii G.S., et al. // J. of Appl. Phys. 2004. V. 95. P. 1502-1509.
2. Г.С.Соколовский, В.В.Дюделев и др. // Письма в ЖТФ, 2005, т.31(19), с.28-34.
3. Streifer W., Burnham R.D., Scifers D.R. // IEEE J. of Quant. El. 1975. V. 11. P. 154-161.
4. В.В.Дюделев, Г.С.Соколовский и др. // Письма в ЖТФ, 2007, т.33(7), с.43-49.

Электролитография на основе нового нанокompозитного материала

Журихина В.В., Липовский А.А., Мелехин В.Г.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Мы представляем результаты исследований, направленных на разработку методики литографии нового типа, которую мы назвали электролитографией. Она основана на локальном растворении металлических наночастиц, сформированных вблизи поверхности стекла, под действием электрического поля [1, 2]. Мы использовали этот процесс для формирования изображения электрода (шаблона) в подповерхностном слое стекла.

Наночастицы формируются при восстановлении водородом металлических ионов, введенных в стекло ионным обменом из расплавов соответствующих солей вместо ионов натрия, и последующих нуклеации и росте наночастиц металла при термообработке в атмосфере водорода. В зависимости от условий процесса размер наночастиц варьируется от 3-4 до 10-20 нм, толщина слоя с наночастицами ~0, 1 мкм. Совместное действие электрического поля и температуры на стекла с наночастицами вызывает растворение наночастиц по механизму полевого испарения за счет возникновения сверхвысоких полей в области объемного заряда под анодным электродом. В результате подповерхностный слой стекла, исходно окрашенный наночастицами за счет поглощения в спектральной области, соответствующей резонансу поверхностных плазмонов, становится прозрачным там, где было приложено поле, т.е. под электродом. Нами разработаны физическая модель процессов нуклеации и роста наночастиц в результате реактивной диффузии водорода в стекло и замещения им металлических ионов стеклянной матрицы, модель растворения наночастиц и рассчитаны оптические свойства стекло-металлических нанокомпозитов.

В экспериментах по электролитографии в качестве положительного электрода мы использовали структуру из наборов параллельных полосок шириной 0, 5 мкм, 1 мкм, 2 мкм и 5 мкм, сформированных с помощью электронной литографии и lift-off техники из пленки золота толщиной ~50 нм, нанесенной на кварцевую пластинку. Стекло с наночастицами помещалось между этой кварцевой пластинкой и пластинкой из нержавеющей стали, использовавшейся в качестве отрицательного электрода. Приложение напряжения ~1 кВ к образцу, нагретому до 270С, позволило получить изображение электродной структуры в слое наночастиц под поверхностью стекла. Микроскопия показала, что разработанная методика обеспечила формирование изображений самых узких линий (ширина 0, 5 мкм) использованного шаблона. Разница в оптической плотности областей стекло-металлического нанокомпозита, находившихся под анодным электродом и вне его, составила ~2 на длине волны 420 нм.

Разработанный процесс похож на обычную фотолитографию, однако вместо УФ облучения пленки фоторезиста через фотошаблон используется постоянное электрическое поле, прикладываемое к проводящему шаблону. В отличие от фотолитографии, при электролитографии пространственное разрешение формируемых структур ограничено снизу размером металлических наночастиц (десятки нанометров), а не длиной волны используемого светового излучения, и предлагаемый процесс не является «мокрым», т.е. не требует обработки образцов в растворах после формирования скрытого изображения. В то же время, как и в фотолитографии, шаблон может использоваться многократно.

Разработанные материал и процесс могут быть использованы для изготовления стойких фотошаблонов, поскольку формируемая структура находится не на поверхности, а под поверхностью стекла, а также для формирования различных структур с субмикронными размерами, в том числе дифракционных оптических элементов.

Исследование было поддержано Правительством Санкт-Петербурга (В.Ж., грант PD07-1.2-9).

Литература

- [1] O. Deparis, P. G. Kazansky, A. Abdolvand, et al., Appl. Phys. Lett., 85, 872 (2004).
- [2] А.А. Липовский, В.Г. Мелехин, В.Д. Петриков, Письма в ЖТФ, 32, 89 (2006).

Процессы роста, кристаллическая структура и магнитные свойства эпитаксиальных наноструктур на основе металлов группы железа на поверхности фторидов на кремнии

Кавеев А.К., Гастев С.В., Кричевцов Б.Б., Сутурин С.М., Соколов Н.С.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

В работе изучено влияние рельефа поверхности на упорядочение наночастиц кобальта, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), на поверхности CaF_2 . Были рассмотрены два типа поверхности: гофрированная поверхность эпитаксиального слоя CaF_2 (110) и планарная поверхность флюорита, реализующаяся в слоях $\text{CaF}_2(111)$.

С помощью дифракционных методик было обнаружено, что Co , при нанесении как на поверхность $\text{CaF}_2(110)$, кристаллизуется на этой поверхности преимущественно в метастабильной кубической гранецентрированной решетке с ориентацией кристаллографических осей, совпадающей с ориентацией таковых для CaF_2 . При этом с помощью атомно-силовой микроскопии показано, что Co формирует массивы наноразмерных островков, упорядоченных вдоль направления гофр буферного слоя. На настоящем этапе работы путем изменения условий роста (температуры подложки и величины покрытия) были реализованы ситуации как изолированных, так и взаимодействующих магнитных наночастиц. Изучение морфологии поверхности структур $\text{Co}/\text{CaF}_2/\text{Si}(111)$ позволило выявить режимы выращивания, при которых наблюдается ярко выраженное декорирование моноатомных ступеней на поверхности флюорита наночастицами Co . Таким образом, показана возможность формирования квазиодномерных массивов этих магнитных наночастиц в обоих случаях.

Структурные характеристики массивов наночастиц кобальта на $\text{CaF}_2(111)$ были также изучены с помощью рентгеновской дифракции. Было выявлено, что кроме ранее обнаруженной метастабильной кубической фазы с гранецентрированной кристаллической решеткой, при определенных условиях может доминировать стабильная гексагональная фаза. Это наблюдение является весьма важным для анализа данных магнитооптических измерений.

Процессы перемагничивания в наночастицах кобальта на поверхности $\text{CaF}_2(110)$ были изучены с помощью магнитооптического эффекта Керра. В многослойных массивах наноструктур наблюдалась существенная анизотропия петель гистерезиса, наведенная гофрировкой поверхности слоя флюорита. Данная анизотропия описывается при учете Гауссовского распределения осей легкого намагничивания в гранулах кобальта вокруг направления, параллельного направлению гофр. Также удалось измерить кривые перемагничивания при значительно меньших покрытиях, при которых отсутствует магнитное взаимодействие между наночастицами. Показано, что изолированные наночастицы Co , выращенные при температурах ниже 300°C , при комнатной температуре являются суперпарамагнитными с практически отсутствующим гистерезисом. Понижение температуры до 100K приводило к возникновению значительного (до 1 кГс) коэрцитивного поля, что согласуется с известными моделями суперпарамагнетизма. В гетероструктурах на основе пары Co/MnF_2 было обнаружено наличие обменного смещения кривых перемагничивания.

Геометрические размеры гофр $\text{CaF}_2(110)$, а также наночастиц Co во всех случаях были статистически обработаны с помощью автокорреляционной функции, и выведены их средние значения. Было выяснено, что разброс латеральных размеров и высот наночастиц в зависимости от их количества хорошо аппроксимируется по Гауссу. С помощью автокорреляционной функции также была подтверждена анизотропия пространственного распределения наночастиц в гетероструктурах $\text{Co}/\text{CaF}_2(110)/\text{Si}(001)$, наведенная за счет гофрировки буферного слоя.

Мощные полупроводниковые лазеры с оптическим волноводом на основе фотонного кристалла

Карачинский Л.Я.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

В настоящее время не утихает интерес к созданию полупроводниковых лазеров, обладающих все более высокой мощностью оптического излучения. Мощные лазеры востребованы для накачки твердотельных лазеров (длина волны 808 нм), в системах записи/считывания информации на/с оптические диски (650 нм), лазерной хирургии (780 нм), накачке Er волоконных усилителей (980 нм) и т.д. Для целого ряда приложений ключевой характеристикой полупроводникового лазера является не только оптическая мощность излучения, но также оптическое качество излучаемого пучка света и температурная стабильность длины волны лазерной генерации.

Среди основных причин, ограничивающих максимальную выходную оптическую мощность полупроводникового лазера можно выделить: (1) обратимое уменьшение выходной оптической мощности, связанное с разогревом активной области (roll-over); (2) катастрофическая оптическая деградация зеркал (COMD). Для устранения первой причины, то есть увеличения абсолютного тока накачки, при котором происходит обратимое уменьшение выходной оптической мощности, используются различные схемы монтажа полупроводникового лазера, обеспечивающие наилучший отвод тепла от лазерного диода. Для увеличения порога COMD в полупроводниковых лазерах применяются различные методики, такие как: (1) нанесение на зеркала защитных покрытий; (2) использование в конструкции лазера расширенного волновода; (3) цинковая диффузия в области зеркал; (4) термо-, фото- и примесно-индуцированное перемешивание твердых растворов соединений (intermixing).

Недавно были предложены и реализованы полупроводниковые лазеры полностью эпитаксиальной конструкции, на основе волновода с одномерным фотонным кристаллом (PVC-лазеры), обеспечивающие предельно низкую вертикальную расходимость оптического пучка в вертикальном направлении до 5 градусов (смотри, например, [1]), а также лазеры, излучающие в наклонной оптической моде (TCL-лазеры), обладающие высокой температурной стабильностью длины волны лазерной генерации (смотри, например, [2]).

В рамках данной работы будут представлены результаты, полученные для PVC-лазеров и TCL-лазеров. Так, например, красные PVC-лазеры спектрального диапазона 640 нм продемонстрировали симметричную диаграмму направленности оптического излучения (8 градусов в горизонтальном и вертикальном направлениях) при сохранении высокой дифференциальной квантовой эффективности (до 85%). Максимальная выходная оптическая мощность при накачке импульсами тока составила 20 Вт. TCL-лазеры диапазона длин волн 980 нм, обладающие температурной стабильностью длины волны лазерной генерации 0.13 нм/К показали одномодовую генерацию с уровнем подавления побочных мод 41.3 Дб при оптической мощности излучения 93 мВт, что сравнимо с характеристиками лазеров с распределенной обратной связью (РОС-лазеры).

Дальнейшие исследования будут направлены на увеличение порога COMD в исследуемых лазерах за счет цинковой диффузии в области зеркал полупроводниковых лазеров.

Литература

- [1] M.V. Maximov, Yu.M.Shernyakov, I.I.Novikov, S.M.Kuznetsov, L.Ya.Karachinsky, N.Yu.Gordeev, V.P.Kaloshina, V.A.Shchukin, and N.N.Ledentsov, IEEE J. Quant. Electron. 41, 1341 (2005).

- [2] V.A.Shchukin, N.N.Ledentsov, L.Ya.Karachinsky, I.I.Novikov, Yu.M.Shernyakov, N.Yu.Gordeev, M.V.Maximov, M.B.Lifshits, A.V.Savelyev, A.R.Kovsh, I.L.Krestnikov, S.S.Mikhrin and D.Bimberg, *Semicond. Sci. Technol.* 22, 1061 (2007).

Шероховатость границ квазидвумерных электронных систем: вклад в классический размерный и магнитооптический эффекты

Ковалевский Д.В.^{1,2}, Кучма А.Е.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Санкт-Петербург

Поверхность проводящего кристалла – это специфический источник рассеяния носителей заряда, влияющий на кинетические свойства образца. Роль поверхностного рассеяния особенно возрастает в квазидвумерных электронных системах (тонкие пленки, инверсионные каналы и др.). Если квазидвумерная система является многослойной, существенным фактором становится также рассеяние на границах слоев (интерфейсах). На практике как поверхности, так и интерфейсы всегда являются в той или иной степени неидеальными. Важной разновидностью подобной неидеальности является геометрическая шероховатость, т.е. отклонение поверхности (интерфейса) от идеальной атомной плоскости, обусловленное случайными неровностями.

В настоящем сообщении предложена модель слоистой системы «проводник – диэлектрик», описывающая отражение электронов проводимости от тонкой шероховатой диэлектрической прослойки и туннелирование через нее. Коэффициенты зеркального отражения и пропускания оказываются зависящими от величины и направления квазиимпульса электрона, падающего на интерфейс, а также от статистических свойств шероховатости интерфейса. В качестве примера применения развитой модели рассчитана проводимость тонкой пленки с шероховатыми диэлектрическими покрытиями в условиях классического размерного эффекта.

Магнитооптический эффект в слоистых системах «магнитный металл-диэлектрик» рассмотрен в работе [1]. Эффект заключается в зависимости коэффициента отражения электромагнитной волны, падающей на границу полубесконечной слоистой системы, от взаимной ориентации магнитных моментов в соседних металлических слоях. В [1] отмечалось, что при идеально гладких интерфейсах магнитооптический эффект полностью отсутствует. Данный результат был получен для конкретной геометрии периодической структуры, когда толщины всех металлических слоев предполагались одинаковыми, а все диэлектрические прослойки также обладали равной толщиной. Нами проведен анализ для более общей геометрии, когда период структуры содержит несколько металлических слоев разной толщины, разделенных диэлектрическими прослойками, также имеющими различные толщины. Показано, что и для обобщенной геометрии периодической структуры при идеально гладких интерфейсах величина магнитооптического эффекта тождественно равна нулю; вскрыты причины данного явления.

Работа поддержана грантом Правительства Санкт-Петербурга для молодых кандидатов наук (проект PD07-1.2-77).

Литература

- [1] Белотелов В.И., Звездин А.К., Котов В.А., Пятаков А.П. Негиротропные магнитооптические эффекты в магнитных тонких многослойных пленках металл – диэлектрик. *ФТТ* 45, 1862, 2003.

Мощный одномодовый лазер на квантовых точках с монолитно интегрированным фильтром оптических мод

Новиков И.И.¹, Гордеев Н.Ю.¹, Шерняков Ю.М.¹, Максимов М.В.¹, Устинов В.М.¹, Лифшиц Д.А.², Крестников И.Л.², Михрин С.С.² и Ковш А.Р.²

¹ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Политехническая 26, 194021, Россия

² Innolume GmbH, Konrad-Adenauer-Allee 11, 44263, Dortmund, Germany

Постоянно растущие мощностные требования, предъявляемые к современным полупроводниковым лазерам, подогревают интерес к созданию мощного одномодового лазера телекоммуникационного диапазона длин волн. В последние годы было предложено и исследовано несколько подходов по увеличению выходной мощности полупроводникового лазера на квантовых ямах в одномодовом режиме. Среди них можно выделить такие как лазеры с конической полоской (tapered stripe laser) [1], а также использование в лазерном резонаторе специального оптического фильтра для подавления мод высокого порядка [2]. Такой фильтр формируется за счет внедрения внутрь резонатора специальной секции, небольшой длины, при этом ширина полоска в этой секции больше, по сравнению с основным полоском. В этом случае лазерный полосок оказывается, разделен более широкими секциями, где излучение испытывает дифракционные потери в горизонтальном направлении. Величина потерь будет определяться размером апертуры оптической моды в волноводе, а поскольку моды высокого порядка обладают малой апертурой, по сравнению с фундаментальной, они будут испытывать большие потери. В данной работе представлены результаты создания и исследования лазеров с интегрированным фильтром на квантовых точках (КТ). Лазеры на КТ являются более привлекательным для использования данного подхода, по сравнению с квантовыми ямами, в связи с малой величиной поглощения КТ. Лазерная структура была выращена методом молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) [3]. Длина волны лазерной генерации составляла 1.25-1.27 мкм. Модовый фильтр представлял собой широкую секцию (100 мкм) помещенную внутри лазерного полоска. Длина секций составляла 100, 200 и 300 мкм. Ширина полоска составляла 7, 10 и 15 мкм. «Чистый» одномодовый режим определялся как комбинация (в одном приборе) следующих факторов: одно-лепестковое дальнее поле излучения, одиночная спектральная линия и ватт амперная характеристика без «кинков». Лазер с шириной полоска 7 мкм и фильтрующей секцией в 100 мкм продемонстрировал существенное улучшение картины дальнего поля и выходную мощность 180 мВт в «чистом» одномодовом режиме. При дальнейшей накачке основная мощность находилась в фундаментальной моде вплоть до мощности 500 мВт.

Литература

- [1] A.E.Huber, et al., IEEE Photonics Technology Letters, 13(10), 1064 (2001)
- [2] O.P.Kowalski, et al., Proc. Int. Conference 1st EMRS, Edinburgh, UK, B3 (2004)
- [3] I.I.Novikov, et al., Semiconductors, 39(4), 477 (2005)

Взаимодействие ДНК и белков хроматина с ионами металлов и координационными соединениями платины.

Поляничко А.М.^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Институт цитологии РАН

В ядре эукариотических клеток ДНК связана с различными белками. НМГ-белки – одна из самых распространенных групп негистоновых белков хроматина. Наиболее интересными среди них являются белки семейства НМГВ1/2. По существующим на сегодняшний день представлениям белки семейства НМГВ взаимодействуют преимущественно с участками ДНК, не входящими в состав нуклеосом, в том числе с линкерной ДНК. Однако известно, что НМГВ белки далеко не единственные объекты, функционирующие на таких участках ДНК. в силу своей доступности для действия разнообразных лигандов.

Настоящее исследование посвящено изучению влияния функционально-значимых низкомолекулярных лигандов на процесс взаимодействия ДНК с белками НМГВ1, НМГВ2 и Н1, а также на структурную организацию образующихся комплексов. В качестве таких лигандов были выбраны противоопухолевые препараты на основе координационных соединений платины, а также ионы некоторых металлов. Особое внимание было уделено анализу влияния подобных лигандов на структуру формирующихся ДНК-белковых комплексов.

В ходе работы была исследована структурная организация надмолекулярных комплексов между ДНК и гистоном Н1 в присутствии белка НМГВ1. Важным результатом работы стал вывод о неконкурентном связывании с ДНК гистона Н1 и белка НМГВ1. Были также исследованы и охарактеризованы комплексы ДНК с белками НМГВ1/2 и гистоном Н1 в присутствии координационных соединений платины цис-ДДП и транс-ДДП. Установлено, что комплексообразование проходит в 2 этапа с характерными временами 20 мин. и 700 мин. Установлено, что присутствие данных белков в системе не препятствует образованию биологически-активных платиновых аддуктов на ДНК.

Важным результатом работы стало обнаруженное различие в механизмах взаимодействия с комплексом ДНК-(цис-ДДП) белков: НМГВ1 и НМГВ2. Нами было установлено, что конформационные особенности структуры двойной спирали ДНК в комплексе ДНК-ДДП при взаимодействии с белком НМГВ1 определяются, прежде всего, взаимодействием ДНК с цисплатином. Белок НМГВ1 связывается с аддуктом, не изменяя структуру самой ДНК. В противоположность этому белок НМГВ2 существенно изменяет структуру двойной спирали. Таким образом, несмотря на идентичность первичной структуры этих белков, механизм их взаимодействия с ДНК различен, что может определять различие в функции НМГВ1 и НМГВ2 в клеточном ядре.

Нами были исследованы и охарактеризованы комплексы ДНК с белками НМГВ1/2 в присутствии ионов Ca^{2+} и Mn^{2+} . Установлено, что механизм взаимодействия ионов с ДНК в присутствии белков принципиально различен. Получены основные физико-химические характеристики связывания. Отдельно были рассмотрены комплексы ДНК с белками НМГВ1/2 в присутствии гистона Н1 и ионов Ca^{2+} и Mn^{2+} . Установлено, что присутствие гистона Н1 в комплексе приводит к изменению характера взаимодействия с ДНК как ионов металлов, так и НМГВ-белков, что приводит к образованию крупных надмолекулярных комплексов с ярко выраженной структурированной организацией.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Санкт-Петербурга и гранта Президента РФ (МК-2126.2007.4)

Резонансные свойства двухслойной структуры на основе железо-иттриевого граната и магнониобата-титаната свинца

Устинов А.Б.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

В последнее десятилетие одним из путей развития электроники является освоение новых композитных материалов с целью их использования для разработки новых микроэлектронных приборов обработки сверхвысокочастотных (СВЧ) сигналов. Сравнительно недавно были предложены композитные резонаторы, изготавливаемые на основе слоистой структуры, состоящей из двух или более механически связанных слоев феррита и пьезоэлектрика.

Целью настоящей работы являлось исследование резонансных свойств двухслойной феррит-пьезоэлектрической структуры с совместной электрической и магнитной перестройкой частоты в диапазоне 2-18 GHz. Структура была изготовлена из пленки феррита железо-иттриевого граната (ЖИГ) и пьезоэлектрической пластины магнониобата-титаната свинца (МНТС), жестко склеенных клеем «Loctite 499». Пленка ЖИГ имела толщину 7.5 мкм и намагниченность насыщения - 1800 Э. Толщина пластины МНТС составляла 500 мкм, а ее пьезоэлектрическая константа равнялась 292 пКл/Н.

Для изучения резонансных свойств описанной структуры из нее был вырезан резонатор. Его размеры в плоскости составляли 1x1 мм². Для возбуждения СВЧ колебаний в резонаторе использовался микрополосковый преобразователь шириной 0.5 мм и длиной 3 мм, выполненный методом фотолитографии на поликорковой подложке толщиной 0.5 мм. Один конец преобразователя был соединен со стандартной микрополосковой линией с волновым сопротивлением 50 Ом, а другой конец был закорочен.

Магнитная перестройка резонансной частоты СВЧ колебаний в изучаемой структуре реализовывалась за счет изменения магнитной восприимчивости феррита при вариации напряженности намагничивающего поля H . Электрическая перестройка резонансной частоты реализовывалась за счет СВЧ магнитоэлектрического эффекта путем приложения к электродам пластины МНТС постоянного напряжения, создающего в ней электрическое поле E . Измерения добротности и совместной электрической и магнитной перестройки частоты резонатора было проведено в диапазоне магнитных полей от 0.2 до 5.5 кЭ.

Результаты показали, что при изменении H в интервале 0.2-5.5 кЭ диапазон магнитной перестройки частоты составлял около 2-18 ГГц. Величина электрической перестройки частоты практически не зависела от поля подмагничивания и составляла около 20 МГц для $E=8$ кВ/см во всем диапазоне частот. Зависимость резонансной частоты от прикладываемого электрического поля была линейной. Добротность резонатора варьировалась на разных частотах от 110 до 990.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 05-02-17714), Федерального агентства по образованию РФ (проект РНП/2.1.1.1382), Федерального агентства по науке РФ (проект НШ-8860.2006.2) и Администрации Санкт-Петербурга (шифр PD 07-1.2-81).

Повышение быстродействия транзисторов за счет увеличения максимальной дрейфовой скорости электронов

Школьник А.С.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

Повышение крутизны и быстродействия транзисторов является центральной задачей современной электроники. Крутизна полевого транзистора и предельная частота определяются размерами активной области и дрейфовой скоростью электронов в канале. На данный момент насыщение дрейфовой скорости является физическим ограничением, которое формирует предел для дальнейшего повышения крутизны и быстродействия транзистора. Максимальная дрейфовая скорость электронов в полупроводнике определяется резко неупругим рассеянием электронов на оптических фононах. В этом смысле максимальная дрейфовая скорость является фундаментальной постоянной материала ($\sim 10^7$ см/с). В данной работе предлагается решение проблемы повышения дрейфовой скорости электронов в сильных электрических полях за счет подавления неупругого рассеяния электронов на оптических фононах в канале транзистора. Задача о снижении электрон-фононного рассеяния путем квантования моментов оптических фононов теоретически решалась во многих работах [1-7]. Расчеты показали, что захват фононов многократно уменьшает скорость рассеяния электронов на захваченных оптических фононах [2, 3]. Однако захват фононов в фононную квантовую яму сопровождается генерацией поверхностных фононов на границе раздела гетероструктуры, и электрон при своем движении параллельно плоскостям раздела неупруго рассеивается на поверхностных фононах так же эффективно, как на объемных. Это означает, что квантование моментов оптических фононов только в одном, поперечном движении электронов, направлении не решает задачи о резком снижении скорости рассеяния электронов на оптических фононах. Однако, в работе [8] показано, что рассеяние электронов на поверхностных фононах остается весьма эффективным процессом, ограничивающим дрейфовую скорость электронов. Нами было показано, что понизить вероятность электрон-интерфейсного фононного взаимодействия возможно за счет введения регулярного рельефа на интерфейсе с заданным периодом, что приведет к квантованию поверхностных фононов.

В нашей работе исследованы гетероструктуры с тонким фононным барьером в электронном канале, не искажающим электронную волновую функцию. Расчеты дисперсии различных мод интерфейсных фононов показывает, что вероятность электрон-интерфейсного фононного взаимодействия резко понижается с уменьшением ширины квантовой ямы. Поэтому, деление квантовой ямы на две с меньшими ширинами ведет к снижению вероятности рассеяния электрона на захваченных модах интерфейсных фононов боковых поверхностей квантовой ямы. Это означает снижение общей вероятности электрон-фононного рассеяния в квантовой яме, разделенной фононным барьером.

Предлагаемая концепция открывает новый путь повышения быстродействия и коэффициента усиления полупроводниковых приборов в области сотен ГГц не за счет использования предельных возможностей субмикронной литографии, а за счет радикального повышения дрейфовой скорости насыщения электронов в канале транзистора. Ожидаемое увеличение быстродействия полевых транзисторов составляет 1.5-2 раза.

Литература

- [1] N. Mori, T. Ando. Phys. Rev. B, 40, 6175 (1989).
- [2] I. Lee, S.M. Goodnick, M. Gulin, E. Molinary, P. Lugli. Phys. Rev. B, 51, 7046 (1995).
- [3] J. Požela, K. Požela, V. Jucienve. Semicond. Sci. Technol., 10, 1076, 1555 (1995).
- [4] J. Požela, V. Jucienve, A. Namaj Īunax, K. Požela. Physica E, 5, 108 (1999).

- [5] B.K. Ridley. Phys. Rev. B, 39, 5282 (1989).
- [6] B.K. Ridley, M. Babiker, N.A. Zakhleniuk, C.R. Bennett. In: Proc. 23rd Int. Conf. on Physics of Semiconductors (Berlin, 1966) (World Sci., Singapore, 1966) p. 1807.
- [7] G.B. Galiev, V.E. Kaminskii, V.A. Kul.bachinskii. In: Microand Nanoelectronics 2003, ed. by K.A. Valiev, A.A. Orlikovsky [Proc. SPIE, (SPIE, Bellingham, WA, 2004) v. 5401, p. 466
- [8] Мокеров и др. ФТП, 40, 1479-1483

Содержание

Дипломные проекты

Разработка нового портативного масс-спектрометра с оригинальным мембранным интерфейсом <i>Власов С.А.</i>	4
Нелинейное затухание колебаний намагниченности в пленках железо-итриевого граната <i>Дроздовский А.В.</i>	4
Изучение структурной организации комплексов ДНК с негистоновым белком HMGB1 и гистоном H1 <i>Кипенко И. Б., Поляничко А.М.</i>	5
Интеллектуальный анализ нестационарных телеметрических сигналов на основе декомпозиции на эмпирические моды <i>Клионский Д.М.</i>	6
Распределение плазмидной ДНК и экспрессия антигена в организме мыши при ДНК-иммунизации <i>Кулябина О.В., Мурашев Б.В.</i>	7
Исследование ячеек энергонезависимой электрически перепрограммируемой памяти для автомобильной электроники с целью повышения их надежности <i>Миропольский С.М.</i>	8
Исследование электродных слоев платины, применяемых в сендвич-варакторах и изопланарных линиях передачи <i>Дедык А.И., Никитин А.А., Сахаров В.И., Серенков И.Т.</i>	9
Структура и свойства метафосфатных стекол системы $\text{NaPO}_3 - \text{Al}(\text{PO}_3)_3$ по данным спектроскопии Релеевского и Манделъштам-Бриллюэновского рассеяния <i>Петухов А.А., Карапетян Г.О.</i>	10
Низкочастотная спектроскопия сверхпроводящих фотонных кристаллов <i>Поддубный А.Н.</i>	12
Исследование структуры комплексов негистонового хромосомного белка HMGB1 с высокомолекулярной ДНК тимуса теленка <i>Родионова Т. Ю., Поляничко А.М.</i>	13
Задача проектирования малогабаритных съёмных акселерометров с малым углом сдвига фаз между вынуждающей силой и выходным сигналом <i>Семенов К.К.</i>	13
Взаимодействие координационных соединений никеля с биологическими молекулами <i>Тветинская К.В., Поляничко А.М.</i>	14

Кандидатские проекты

Изучение электрических свойств слоев кубического политипа карбида кремния (p-3C-SiC), выращенных на подложках 6H-SiC <i>Абрамов П.Л., Лебедев С.П., Лебедев А.А.</i>	16
Исследование структуры SiC/Si(111), полученной методом неравновесной гетероэпитаксии <i>Сорокин Л.М., Кукушкин С. А. , Калмыков А. Е., Веселов Н. В. , Ситникова А. А., Феокистов Т.А., Осипов А. В., Щеглов М. П.</i>	16
Электрически управляемый фазовращатель на основе многоцелевой линии для применения в фазированных антенных решетках <i>Белявский П.Ю.</i>	17
Свойства эпитаксиальных слоев GaInAsPSb выращенных на подложках GaSb и InAs <i>Гагис Г.С., Кучинский В.И., Васильев В.И.</i>	18
Исследование эффекта локального переключения проводимости в CuPc пленках методами сканирующей зондовой микроскопии <i>Гущина Е.</i>	19
Разработка твердотельных микроохлаждателей и преобразователей энергии на основе сегнетоэлектрических материалов <i>Еськов А.В.</i>	20
Влияние поверхностных состояний и размеров зерен на газочувствительность нанокристаллического диоксида олова. <i>Землякова С.Ю.</i>	21
Использование явления муара для увеличения точности дифракционных методов контроля геометрических параметров объектов <i>Иванов А.Н.</i>	22
Исследование механизмов роста и релаксации напряжений несоответствия в эпитаксиальных слоях PbTe(111) по данным атомно-силовой микроскопии <i>Канагеева Ю.М.</i>	23
Разработка методики определения размера и элементного состава когерентных нановключений в системе Ge/Si по данным просвечивающей электронной микроскопии <i>Кириленко Д.А., Ситникова А.А., Руколайне С.А.</i>	24
Создание WGM лазеров для среднего ИК диапазона <i>Кислякова А.Ю.</i>	25
Синтез и исследование структуры феррожидкостей с порфиринами и их возможное применение в фотодинамической терапии <i>Кульвелис Ю.В.</i>	26
Электромагнитно индуцированная прозрачность в ячейке с антирелаксационным покрытием стенок <i>Литвинов А.Н., Казаков Г.А., Матисов Б.Г.</i>	27

Магнитооптика движущихся экситонов <i>Литвинов А.Н., Кочерешко В.П.</i>	28
Оптико-электронная измерительная система на основе анаморфозы для мониторинговых наблюдений промышленных и энергетических установок <i>Мерсон А.Д.</i>	29
Применение модифицированных фуллеренами адсорбентов для очистки дизельного топлива от ароматических соединений <i>Никонова В.Ю., Самонин В.В., Подвязников М.Л.</i>	29
Модификация свойств поверхности кремния остросфокусированным ионным пучком <i>Савенко А.Ю.</i>	30
Система управления учебным ЯМР-томографом <i>А.Н.Серегин, Неронов Ю.И.</i>	31
Золь-гель технология получения наноразмерных гибридных гадолиний - и борсодержащих пленок <i>Смирнова И. В.</i>	32
Протонпроводящие диэлектрики на основе силикофосфатных золь-гель систем <i>Цветкова И.Н.</i>	32
Исследование особенностей облучения и их влияния на регистрацию алмаза в рентгенолюминесцентных сепараторах алмазосодержащего сырья <i>Чертов А.Н.</i>	33
Резонансы в сечении фотоотрыва 2р-электронов от отрицательного иона Na ⁻ <i>Яцышин П.И., Иванов В.К.</i>	34

Проекты молодых кандидатов наук

Мощные одномодовые поверхностно-излучающие лазеры ближнего ИК-диапазона <i>Блохин С. А.</i>	36
Синтез и исследование наноструктурированных композитов для высокочувствительных элементов газовых сенсоров <i>Грачева И. Е.</i>	37
Влияние фазы отражения на характеристики широкополосковых гетеролазеров с искривлёнными штрихами решетки обратной связи <i>Дюделев В.В.</i>	38
Электролитография на основе нового нанокompозитного материала <i>Журихина В.В., Липовский А.А., Мелехин В.Г.</i>	38
Процессы роста, кристаллическая структура и магнитные свойства эпитаксиальных наноструктур на основе металлов группы железа на поверхности фторидов на кремнии <i>Кавеев А.К., Гастев С.В., Кричевцов Б.Б., Сутурин С.М., Соколов Н.С.</i>	40

Мощные полупроводниковые лазеры с оптическим волноводом на основе фотонного кристалла <i>Карачинский Л.Я.</i>	41
Шероховатость границ квазидвумерных электронных систем: вклад в классический размерный и магнитооптический эффекты <i>Ковалевский Д.В., Кучма А.Е.</i>	42
Мощный одномодовый лазер на квантовых точках с монолитно интегрированным фильтром оптических мод <i>Новиков И.И., Гордеев Н.Ю., Шерняков Ю.М., Максимов М.В., Устинов В.М., Лифшиц Д.А., Крестников И.Л., Михрин С.С. и Ковш А.Р.</i>	43
Взаимодействие ДНК и белков хроматина с ионами металлов и координационными соединениями платины. <i>Поляничко А.М.</i>	44
Резонансные свойства двухслойной структуры на основе железо-иттриевого граната и магнониобата-титаната свинца <i>Устинов А.Б.</i>	45
Повышение быстродействия транзисторов за счет увеличения максимальной дрейфовой скорости электронов <i>Школьник А.С.</i>	46

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии Квадра-Принт.

194223, Санкт-Петербург, ул. Курчатова, д. 10. Формат 60x90 1/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Officina. Печать ризограф.

Зак. 3561, тир. 100, уч.-изд.л. 3,5, 26.11.2007