

Итоговый семинар
по физике и астрономии
по результатам конкурса грантов
1999 года для молодых ученых
Санкт-Петербурга

15 февраля 2000 г.
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе
Санкт-Петербург

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



Санкт-Петербург, 2000

Организаторы семинара

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН
Конкурсный центр фундаментального естествознания (КЦФЕ)
Министерства образования РФ
Saint-Petersburg Chapter of Lasers and Electro-Optics Society (LEOS)

Организационный комитет

Соколовский Григорий Семенович (ФТИ), *председатель*
Аверкиев Никита Сергеевич (ФТИ)
Азбель Александр Юльевич (КЦФЕ)
Кучинский Владимир Ильич (ФТИ)
Пичеев Борис Викторович (ФТИ)
Попов Алексей Юрьевич (ФТИ)
Портной Ефим Лазаревич (LEOS)

Семинар является одним из заключительных отчетных мероприятий конкурса на соискание персональных грантов для студентов, аспирантов и молодых ученых Санкт-Петербурга, организованного Администрацией Санкт-Петербурга, Министерством образования РФ и Российской академией наук. Конкурс получил также финансовую поддержку со стороны федеральной целевой программы «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997–2000 годы». Для участия в семинаре были приглашены победители конкурса 1999 года в области физики и астрономии, набравшие высший рейтинг по результатам экспертизы.

Предисловие

В 1999 году в очередной раз проводился конкурс работ студентов, аспирантов и молодых ученых Санкт-Петербурга. Задача этого конкурса — выявление перспективных научных идей молодежи и финансовая поддержка лучших работ. Конкурс проводился в рамках программы, организованной городской администрацией, Конкурсным центром фундаментального естествознания (КЦФЕ) Министерства образования РФ и Российской академией наук. Первоначально конкурсы проводились только среди студентов и аспирантов университетов города, а с 1997 года в них стали принимать участие и молодые сотрудники академических исследовательских институтов.

Конкурс проводится для трех групп участников. В первой группе, называемой «Дипломные проекты», участвуют студенты старших курсов, в группе «Кандидатские проекты» — аспиранты и стажеры-исследователи, и, наконец, в третьей группе «Поисковые проекты» рассматриваются работы молодых ученых, недавно защитивших кандидатскую диссертацию. Подобная структура конкурса, с одной стороны, обеспечивает максимальный охват научной молодежи, а с другой, позволяет достаточно гибко осуществлять поддержку наиболее перспективных направлений исследований.

Предлагаемый вниманию читателя сборник содержит тезисы докладов победителей конкурса 1999 года, представленных на итоговом семинаре по физике и астрономии. Такие семинары проводятся в третий раз, начиная с 1997 года, при финансовой поддержке КЦФЕ. Традиционным местом их проведения является Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе. Однако в этом году семинар был проведен не в «главном» корпусе, а в новом здании Научно-образовательного центра института, сданном в эксплуатацию в сентябре 1999 года. Это стало возможным благодаря финансированию со стороны федеральной целевой программы «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997–2000 годы» (проект 553). Проведение семинара в Научно-образовательном центре, оборудованном самой современной техникой, дало возможность его участникам — молодым ученым Санкт-Петербурга — воочию убедиться в том, что у российской науки есть будущее. Еще одним отличием нынешнего семинара от предыдущих явилось участие LEOS (Санкт-Петербургского отделения) в его проведении. Сочетание этих двух факторов позволило существенно расширить круг участников семинара.

Тематика работ первых двух семинаров полностью соответствовала их названию, однако, в текущем году Оргкомитет решил отказаться от жест-

ких рамок и включил в программу семинара работы по биофизике и информационным технологиям. По мнению организаторов, это дало молодым исследователям дополнительную возможность познакомиться с новыми идеями, находящимися на стыке разных областей знаний, и расширить свой научный кругозор. Хорошо известно, что аналитический подход и экспериментальные методики, развитые в физике, успешно проникают в другие точные науки, и наоборот, — задачи из «смежных» областей знаний дают импульс для развития новых направлений физических исследований. В результате возможно слияние, казалось бы, прежде несовместимых научных направлений.

В семинаре участвовало 48 докладчиков из четырех университетов и четырех академических институтов Санкт-Петербурга. В программу включены как экспериментальные, так и теоретические работы по оптике, молекулярной физике, физике полимеров, радиофизике, физике плазмы и т. д. Следует отметить высокий уровень представленных работ, свидетельствующий о значительных успехах вузовской и академической молодежи в развитии выбранных научных идей. Сегодня авторы этих работ, может быть, впервые в жизни вынесли на обсуждение коллег свои научные результаты, а завтра именно они будут определять основные направления развития российской науки в 21-ом веке.

Как и в предыдущие годы, в организации семинара активнейшее участие приняли молодые сотрудники Физтеха, энергия и энтузиазм которых обеспечили успех семинара.

Ученый секретарь
ФТИ им. А. Ф. Иоффе
д. ф.-м. н. Н. С. Аверкиев

Кандидатские проекты

Фазовые переходы в трехмерном кубическом кристалле. Критические индексы для произвольной размерности параметра порядка

К. Б. Варнашев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
feor@eltech.ru

Для трехмерной теоретико-полевой модели, включающей изотропное и кубическое взаимодействия выполнен детальный анализ глобальной структуры ренормгрупповых (РГ) потоков в рамках массивной теории поля. Четырехпетлевые разложения для РГ функций вычислены для произвольного значения N размерности поля параметра порядка [1] и пересуммированы путем использования обобщенного преобразования Паде–Бореля–Леруа (PBL) [2]. Координаты кубической фиксированной точки и соответствующие ей индексы устойчивости найдены при оптимальном значении параметра преобразования. Показано, что критическая размерность поля флуктуаций, отделяющая два режима критического поведения модели, равна $N_c = 2.89(2)$, что хорошо согласуется с оценками работы [3], полученными на основе пересуммирования методом PBL известных пятипетлевых ϵ -разложений [4]. Следовательно, кубическая фиксированная точка должна быть устойчива на (u, v) фазовой диаграмме при всех $N \geq 3$, и критические индексы, контролирурующие фазовые переходы в трехмерных магнетиках, должны принадлежать к кубическому классу универсальности.

Критическое поведение трехмерной модели Изинга с замороженными неравновесными примесями, являющейся нетривиальным частным случаем кубической модели при $N = 0$, также исследуется. Для всех представляющих интерес физических величин получены наиболее точные численные оценки и определены интервалы допустимых ошибок. Результаты, достигнутые в работе, обсуждаются наряду с предсказаниями, полученными на основе существенно отличных теоретических подходов [5] и сопоставляются с известными экспериментальными данными.

Список литературы

- [1] K. B. Varnashev. *Stability of a cubic fixed point in three dimensions. Critical exponents for generic N* , cond-mat/9909087.
- [2] G. A. Baker, Jr., B. G. Nickel, and D. I. Meiron, *Phys. Rev. B* **17**, 1365 (1978).

- [3] K. B. Varnashev. *J. Phys. A* (2000). In press.
- [4] H. Kleinert and V. Schulte-Frohlinde, *Phys. Lett.* **B342**, 284 (1995).
- [5] J. M. Carmona, A. Pelissetto, and E. Vicari. *The N-component Ginzburg–Landau Hamiltonian with cubic anisotropy: a six-loop study*, cond-mat/9912115.

Неравновесные стохастические системы: самоорганизованное критическое состояние в гранулированных сверхпроводниках и индуцированное мультипликативным шумом усиление в системах с on-off перемежаемостью

О. В. Геращенко

Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова РАН,
gerashch@hep486.pnpi.spb.ru

В настоящее время самыми актуальными, находящимися на переднем краю физики твердого тела, являются проблемы, связанные с изучением сложных многочастичных систем. Такие системы практически всегда являются нелинейными, далекими от равновесия стохастическими системами. Ярким примером таких систем являются изученные в проекте гранулированные сверхпроводники, в которых обнаружен совершенно новый тип критического состояния — самоорганизованное критическое состояние [1], которое характеризуется, в частности, вольт-амперной характеристикой, независимой от угла между магнитным полем и током в сверхпроводнике [2], и сильными флуктуациями [3]. Другим примером из этого класса являются системы, демонстрирующие on-off перемежаемость, в которых обнаружено новое явление — сверхчувствительность к слабым знакопеременным сигналам [4–6]. Эти системы объединяет не только существенная, а в случае on-off перемежаемости — определяющая, роль флуктуаций, но и скейлинговые зависимости основных вероятностных характеристик.

Список литературы

- [1] С. Л. Гинзбург. *ЖЭТФ* Т. 106. С. 607 (1994).
- [2] S. L. Ginzburg, O. V. Gerashchenko, A. I. Sibilev. *Supercond. Sci. Tech.* **10** 395 (1997).
- [3] О. В. Геращенко. *Письма в ЖТФ* Т. 25. С. 8 (1999).
- [4] С. Л. Гинзбург, М. А. Пустовойт. *Письма в ЖЭТФ* Т. 67. С. 592 (1998).
- [5] О. В. Геращенко, С. Л. Гинзбург, М. А. Пустовойт. *Письма в ЖЭТФ* Т. 67. С. 945 (1998).
- [6] О. В. Геращенко. *ЖЭТФ* Т. 116. С. 1477 (1999).

Низкотемпературные полярные состояния, индуцированные примесями в квантовом параэлектрике SrTiO_3

М. Е. Гужва, П. А. Марковин, В. В. Леманов

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

Guzhva@shuvpop.ioffe.rssi.ru

Проведены исследования диэлектрических и термооптических свойств ряда твердых растворов квантового параэлектрика SrTiO_3 с изовалентным — $\text{Sr}_{1-x}\text{Cd}_x\text{TiO}_3$, $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{TiO}_3$, $\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{TiO}_3$ и неизовалентным — $[\text{SrTiO}_3]_{1-x}-[\text{KTaO}_3]_x$, $[\text{SrTiO}_3]_{1-x}-[\text{KNbO}_3]_x$ замещением в диапазоне температур 5–300 К. На образцах отдельных составов проведены предварительные исследования влияния других примесей — Mg, Zn, Mn, Cu, Li на низкотемпературные свойства SrTiO_3 . На основе построенных фазовых диаграмм обсуждаются общие закономерности образования полярных состояний в исследованных твердых растворах SrTiO_3 , а также их наиболее характерные отличия в зависимости от типа примеси и ее концентрации.

В чистых квантовых параэлектриках SrTiO_3 и KTaO_3 сегнетоэлектрический фазовый переход подавлен квантовыми флуктуациями. Замещение катионов в кристаллической решетке примесными ионами индуцирует в них сегнетоэлектрические фазовые переходы, причем при малых концентрациях примеси может возникать стеклоподобное полярное состояние, а при превышении критической концентрации примеси x_c появляется сегнетофаза с дальним порядком. В настоящей работе в монокристаллах $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{TiO}_3$ ($x = 0.02, 0.025, 0.05, 0.07, 0.14$) и $\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{TiO}_3$ ($x = 0.014$) из полученных методом гомодинной интерферометрии температурных изменений показателя преломления выделен спонтанный полярный вклад и определены температурные зависимости среднего значения квадрата спонтанной поляризации $\langle P_s^2 \rangle$. На основании этих данных определена зависимость $\langle P_s^2 \rangle$ от концентрации BaTiO_3 . Обнаружена вторая критическая концентрация $x_g = 0.0027$, выше которой в этом твердом растворе среднее значение квадрата поляризации $\langle P_s^2 \rangle$ становится отличным от нуля, а среднее значение поляризации $\langle P_s \rangle$ равно нулю. Показано, что в $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{TiO}_3$ в диапазоне концентраций $x_g \leq x \leq 0.07$ величина $\langle P_s^2 \rangle^{1/2}$, которая может рассматриваться как параметр порядка стеклоподобного состояния, пропорциональна $(x - x_g)^{1/2}$.

На основании полученных температурных зависимостей диэлектрической проницаемости и спонтанной поляризации построена фазовая диаграмма твердого раствора $\text{Sr}_{1-x}\text{Cd}_x\text{TiO}_3$ в координатах (T, x) и определено значение критической концентрации $x_c = 0.002$. Обнаружено, что в

$\text{Sr}_{1-x}\text{Cd}_x\text{TiO}_3$ в диапазоне $x_c \leq x \leq 0.05$ зависимость температуры перехода в полярное состояние T_c от концентрации x имеет вид: $T_c = 139(x - x_c)^{1/2}$, типичный для индуцированных фазовых переходов в виртуальных сегнетоэлектриках. Особенности поведения диэлектрических свойств указывают на возможность реализации полярного состояния стеклоподобного типа при $0.002 \leq x \leq 0.005$, которое переходит в сегнетоэлектрическую фазу для $0.005 \leq x \leq 0.01$.

В монокристаллах $\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{TiO}_3$ с $x = 0.014$ и 0.007 путем измерения петель диэлектрического гистерезиса определены температурные зависимости переключаемой спонтанной поляризации $\langle P_s \rangle$. Величина $\langle P_s \rangle$ оказалась существенно меньше $\langle P_s^2 \rangle^{1/2}$, определяемой оптическими методами, что может свидетельствовать о сосуществовании стеклоподобного состояния и сегнетофазы в твердом растворе $\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{TiO}_3$.

Проведены исследования диэлектрических свойств твердых растворов SrTiO_3 с неизовалентным замещением — $\text{SrTiO}_3\text{—KNbO}_3$ и $\text{SrTiO}_3\text{—KTaO}_3$, на основании которых построены фазовые диаграммы и определены значения критической концентрации в этих твердых растворах $x_c = 0.007$. Обнаружено, что при $x_c < x < 0.15$ температура T_c меняется пропорционально $(x - x_c)^{1/2}$. Показано, что увеличение x_c в 3.5 раза по сравнению с изовалентными твердыми растворами SrTiO_3 , можно связать с подавлением перехода в полярное состояние хаотическим полем «замороженных» дипольных моментов, возникающих в этих твердых растворах при зарядовой компенсации неизовалентной примеси. Проведенные исследования диэлектрической проницаемости и петель гистерезиса SrTiO_3 , допированного Cu, Mn и Li показали, что малое количество (в районе одного массового процента) этих примесей индуцирует полярное состояние, характеризуемое сильной частотной дисперсией диэлектрической проницаемости, сильными диэлектрическими потерями и отсутствием заметной спонтанной поляризации, что позволяет отнести его к стеклоподобным полярным состояниям.

Гистерезис прыжкового магнитосопротивления нейтронно-легированного p-Ge

А. Г. Андреев, С. В. Егоров, А. Г. Забродский, Р. В. Парфеньев, А. В. Черняев

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН
sergey.v.egorov@pop.ioffe.rssi.ru

Нейтронно-легированный Ge:Ga является легированным полупроводником с умеренной компенсацией и давно известен как объект для изучения прыжкового транспорта. При температурах ниже 1 К в этом материале реализуется режим прыжков с переменной длиной по состояниям кулоновской щели в примесной зоне [1]. Недавние исследования его низкотемпературного магнитосопротивления (МС) показали существенную зависимость этой характеристики от направления изменения поля, что позволяет говорить о гистерезисе [2].

МС легированного полупроводника в прыжковом режиме определяется уменьшением радиуса локализации волновой функции носителя в примесной зоне, что приводит к монотонному росту сопротивления в магнитном поле [3]. В нашем случае этот рост сопротивления наблюдается в полях более 5 кЭ. Неожиданным явилось то, что в поле ~ 700 Э в зависимости сопротивления от поля наблюдается скачкообразное падение на 6% и последующая релаксация его к равновесным значениям. Скачок наблюдается при перемагничивании образца после пребывания в поле противоположного направления по величине превосходящем 1 кЭ. Это явление начинает регистрироваться с переходом к режиму прыжков с переменной длиной при температуре ниже 0.7 К, величина скачка растет с понижением температуры и при 0.43 К в отдельных случаях составляет 10%.

Было исследовано несколько образцов с концентрациями основной примеси от $4.5 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ до $2.3 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Переход металл-изолятор имеет место при $1.85 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Скачок достигает максимальной величины при $\sim 8 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$. С приближением к переходу металл-изолятор он исчезает.

Предполагается, что скачки сопротивления имеют тепловую природу. Энергия выделяется при перемагничивании ансамбля предварительно намагниченных локализованных дырок в примесной зоне.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант 98-02-17353) и программой поддержки молодых ученых правительства Санкт-Петербурга.

Список литературы

[1] А. Г. Забродский, А. Г. Андреев, *Письма ЖЭТФ*, **58**, 809 (1993).

- [2] А. Г. Андреев, С. В. Егоров, А. Г. Забродский, Р. В. Парфеньев, А. В. Черняев, *XXXI Собрание по Физике Низких Температур*, Москва, декабрь 1998 г., тезисы докладов, с. 44–45, МГУ;
A. G. Andreev, A. V. Chernyaev, S. V. Egorov, R. V. Parfeniev, A. G. Zabrodskii, *8-th Intern. Conf. Hopping and Related Phenomena*, Madrid, September 1999, abstracts.
- [3] Б. И. Шкловский, А. Л. Эфрос, *Электронные свойства легированных полупроводников* Москва, Наука, 1979.

Трансформация зонного спектра $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_y$ с ростом содержания стронция

М. В. Елизарова

Санкт-Петербургский государственный технический университет

В работе проведено исследование температурных зависимостей коэффициента термоэдс в системе $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_y$ ($x = 0.05–0.3$). Полученные нами экспериментальные зависимости $S(T)$, совместно с данными других авторов по поведению коэффициента термоэдс в данной системе, проанализированы в рамках феноменологической модели узкой зоны, позволяющей оценить значения основных параметров зоны, ответственной за проводимость в нормальной фазе. На основе полученных данных проведен анализ характера и механизма трансформации зонного спектра в зависимости от содержания стронция в исследованной системе.

Проведенные расчеты показали, что эффективная ширина проводящей зоны изменяется в диапазоне 90–200 мэВ в зависимости от содержания стронция, т.е. имеет значения, характерные и для других ВТСП-систем. На концентрационной зависимости ширины зоны наблюдается отчетливый минимум при концентрации $x = 0.15$, соответствующей максимальному значению температуры сверхпроводящего перехода. Степень заполнения зоны электронами изменяется от 0.7 при $x = 0.05$ до величины примерно 0.5 при концентрациях $x = 0.22–0.30$. В режиме слабого легирования ($x < 0.2$) наблюдается быстрое падение степени заполнения с ростом x , тогда как при $x = 0.22–0.30$ она остается практически неизменной. Доля делокализованных носителей заряда уменьшается с ростом x , однако, это уменьшение становится существенно более сильным в режиме сильного легирования ($x > 0.2$). Расчеты показали также наличие слабой асимметрии проводящей зоны, не превышающей нескольких процентов от полной ее ширины. Полученные результаты могут быть интерпретированы в рамках *midgap* сценария формирования проводящей зоны в режиме слабого

легирования. Оптимизация сверхпроводящих свойств с ростом содержания стронция обусловлена ростом узкого пика функции плотности состояний внутри Мотт–Хаббардовской щели, который формируется под действием легирования. При этом уровень Ферми пиннингуется вблизи середины этого пика. В результате, максимальное значение критической температуры соответствует максимальному значению функции плотности состояний на уровне Ферми. Наиболее вероятной причиной подавления сверхпроводимости в системе $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_y$ в режиме сильного легирования является модификация зонной структуры, вызванная реализацией механизма андерсоновской локализации состояний. Увеличение содержания Sr приводит к расширению проводящей зоны и локализации состояний на ее краях вследствие как общего разупорядочения решетки, так и дополнительного разупорядочения кислородной подсистемы. Таким образом, механизм подавления сверхпроводимости в этой области легирования в целом аналогичен случаю неизовалентных замещений в ВТСП других систем.

Дополнительно, в системе $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_y$ при $x > 0.2$ происходит перенос состояний из узкой *midgap* зоны в верхнюю и нижнюю хаббардовские подзоны, результатом которого является разрушение зоны, ответственной за сверхпроводимость. Предложенный механизм трансформации зонного спектра под действием легирования стронцием позволяет непротиворечиво объяснить все результаты, полученные как экспериментально, так и путем расчетов в рамках модели узкой зоны.

Дифракция быстрых электронов на молекуле C_{60}

П. В. Ефимов

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

V.Mikoushkin@pop.ioffe.rssi.ru

С целью установления особенностей рассеяния электронов на фуллеренах и выяснения природы плазменных возбуждений были выполнены эксперименты со свободными молекулами C_{60} [1]. Измерялись спектры характеристических потерь энергии электронов (ХПЭЭ) при фиксированных углах рассеяния в диапазоне $\Theta = 4\text{--}20^\circ$ относительно центра газовой ячейки. Газовая фаза получалась прогревом ($315\text{--}320^\circ\text{C}$) ячейки с сажей, содержащей 15–20% молекул C_{60} и 1.5–2% молекул C_{70} . Органические примеси удалялись многочасовым прогревом ячейки при температуре $200\text{--}250^\circ\text{C}$. В спектрах ХПЭЭ четко разделялись пики упругого и неупругого рассеяния. Последний соответствует возбуждению коллективных колебаний

всех валентных $(\sigma + \pi)$ -электронов: « $(\sigma + \pi)$ -плазмон». Интегрированием площадей указанных пиков были получены дифференциальные сечения упругого и неупругого рассеяния.

Результаты двух серий измерений угловой зависимости дифференциального сечения упругого рассеяния практически легли на одну кривую, которая описывается типичной для дифракции Фраунгофера осциллирующей функцией с затухающей амплитудой (функцией Бесселя). Экспериментальная зависимость была сопоставлена с теоретическим расчетом, выполненным А. Соловьевым и Л. Герчиковым в первом борновском приближении [1]. Хорошее согласие расчета и эксперимента позволило сделать вывод о первом наблюдении дифракции электрона на молекуле-фуллерене. Полученная дифракционная картина несет важную информацию о таких параметрах молекулы, как размер и распределение плотности заряда.

При анализе неупругого рассеяния электрона, сопровождаемого возбуждением плазменных колебаний валентных электронов фуллерена, впервые экспериментально была установлена тонкая мультипольная структура его плазмона. Сделано это было путем разложения каждого из 16 измеренных под разными углами спектров на элементарные составляющие, соответствующие дипольной, квадрупольной и октупольной модам с угловыми моментами соответственно $l = 1, 2$ и 3 . Параметры разложения энергии $\hbar\omega$ и ширины Γ — были найдены в однозначно сходящейся итерационной процедуре: $\hbar\omega_1 = 18.1 \pm 0.2$ eV, $\hbar\omega_2 = 24.3 \pm 0.2$ eV, $\hbar\omega_3 = 29.0 \pm 0.2$ eV и $\Gamma = 8 \pm 1$ eV. Полученные из эксперимента энергии мод хорошо согласуются с рассчитанными по формуле для плазмонного спектра свободного фуллерена, аналогичной формуле для металлического кластера в Митории [2].

$$\hbar\omega_l = \sqrt{\frac{3l(l+1)}{2(2l+1)}} \hbar\omega_1. \quad (1)$$

По площадям элементарных составляющих тонкой структуры плазмонных спектров были получены дифференциальные сечения, которые соответствуют рассеянию электрона, сопровождающемуся возбуждением плазменной моды с угловыми моментами $l = 1, 2$ и 3 . Угловые зависимости этих сечений демонстрируют осцилляционный характер и близки к расчетным [1]. Таким образом, было показано, что процессы возбуждения также сопровождаются дифракционным рассеянием электрона. В совместном экспериментальном и теоретическом исследовании [1] были установлены механизмы прямого рассеяния на плазмоне и ступенчатого рассеяния на плазмоне и ядре. Было показано, что в общем случае периоды и фазы

осциллирующий элементарных составляющих мультипольной структуры не одинаковы, что приводит к зависимости энергии плазмонного пика от кинематических условий. По-видимому, именно с этим обстоятельством связаны большие расхождения в многочисленных экспериментальных данных для энергии плазмона фуллеренового конденсата–фуллерита.

Работа выполнена при финансовой поддержке МНТП России (программа «Фуллерены и атомные кластеры», проект № 98090, и «Физика твердотельных наноструктур», проект № 97-3-005).

Список литературы

- [1] L. G. Gerchikov, P. V. Efimov, V. M. Mikoushkin, A. V. Solov'yov, *Phys. Rev. Lett.* **81**, 2707–2710 (1998).
- [2] G. Barton and C. Eberlein, *J. Chem. Phys.* **95**, 1512 (1991).

Моделирование электрической проводимости гранулированных металлов — мезоскопический и макроскопический режимы

Д. А. Закгейм, И. В. Рожанский

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

mitya@zakheim.spb.su

В последнее время исследованию электрических свойств гранулированных металлических пленок посвящено много работ, поскольку подобные структуры рассматриваются в качестве перспективных материалов для создания приборов нанoeлектроники, оперирующих предельно малыми токами. По своей природе, гранулированные металлы являются случайной средой, расстояние между отдельными металлическими гранулами в которой, а также потенциалы этих гранул имеют статистическое распределение. В связи с этим, очень важным является вопрос, насколько такой случайный характер микроструктуры материала приведет к невозпроизводимости электрических характеристик приборов на ее основе.

В данной работе электрические свойства гранулированной среды анализируются на основе разработанной численной модели туннельного транспорта в такой среде. Модель опирается на представление об одноэлектронных прыжках, учитывает кулоновское взаимодействие между заряженными гранулами в системе и наличие в ней случайного потенциала. При расчете кулоновских взаимодействий проведен также корректный учет электростатической поляризации гранул, что является немаловажным фактором в плотной системе.

Результаты моделирования показали, что, при сравнительно небольшом количестве гранул в системе (~ 1000 при $T = 30$ К и 100 при $T = 300$ К),

практически весь электрический ток в ней протекает вдоль одной самоизбирасмой цепочки из нескольких гранул. При этом может наблюдаться большой (на порядок величины) мезоскопический разброс проводимостей при переходе от одной случайной реализации образца к другой, поскольку проводимость всей системы определяется свойствами одной цепочки гранул. Более того, имеется возможность управления положением этого токопроводящего канала, и, следовательно, его проводимостью, с помощью внешнего электрического поля затвора, что открывает пути к созданию мезоскопического транзистора на основе таких структур. При больших размерах системы происходит статистическое усреднение проводимости, и флуктуации проводимости от образца к образцу становятся малыми. В этом случае, при наличие в системе достаточно большого случайного потенциала, температурная зависимость проводимости при низких температурах следует универсальному закону $\ln \sigma \sim T^{-1/2}$, а при более высоких температурах (> 100 К) происходит переход к активационному типу проводимости.

Эти предсказания модели хорошо согласуются с полученными на пленках Cu:SiO_2 , а также с имеющимися в литературе экспериментальными данными. В рамках модели произведен также анализ влияния на вид температурной зависимости основных микроскопических параметров системы, таких как среднее расстояние между гранулами, амплитуда случайного потенциала, диэлектрическая проводимость разделяющего гранулы диэлектрика. Сопоставление экспериментальных и расчетных данных позволило оценить значения этих параметров в реальных пленках.

Критические явления и самоорганизация в сложных системах

О. В. Кириллова

Санкт-Петербургский государственный университет
kirill@heps.phys.spbu.ru

В настоящее время в рамках теоретической физики предпринимаются многочисленные попытки выделения наиболее универсальных системообразующих факторов в эволюции сложных природных систем и математического моделирования их динамического взаимодействия при наиболее обобщенном описании процессов. Главным успехом в этом направлении можно считать разработку современной теории критических явлений, основанной на осознании их универсальности и автомодельности. Универсальность означает, что критические явления в большом классе различных физических

систем оказываются одинаковыми, т. е. описываются одними и теми же количественными характеристиками. Автомодельность означает, что данные количественные характеристики определяются только самыми общими свойствами системы, и для их описания очень подробная детализация элементарных механизмов взаимодействия не требуется. Основными признаками и свойствами критических явлений являются сильная скоррелированность среды и масштабная инвариантность. Среда становится жестко скоррелированной, образно говоря — критическая среда — это единый коллектив. Универсальность критических явлений позволяет делать их описания в разных средах одной моделью. Резюмируя — можно сказать, что ситуация, сложившаяся к настоящему времени в теоретической физике и смежных с ней науках, позволяет надеяться на формирование в ближайшее время новой парадигмы в подходах к исследованию эволюционных процессов в сложных системах, в которой ключевая роль отводится критическим явлениям, а самоорганизация является универсальным механизмом эволюции.

Механизмы формирования и свойства тонкоплёночных структур редкоземельный металл-кремний Si(111)

М. В. Кузьмин

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

M.Kuzmin@pop.ioffe.rssi.ru

Тонкоплёночным структурам редкоземельный металл (РЗМ)-кремний в настоящее время уделяется значительное внимание. Это внимание обусловлено, прежде всего, тем, что на их основе могут быть созданы новые типы приборов полупроводниковой электроники. Целью настоящей работы было изучение структур, образующихся при нанесении на поверхность Si(111) плёнок Sm, Eu и Yb. Эти элементы значительно различаются по степени заполнения 4f-оболочки, что, в принципе, может дать ценную информацию о её роли в процессах силицидообразования и влиянии на механизмы формирования границ раздела. Исследования проводились комплексом экспериментальных методов, включавшим в себя термодесорбционную спектроскопию, изотермическую десорбционную спектроскопию, дифракцию медленных электронов, электронную Оже-спектроскопию, метод контактной разности потенциалов и технику масс-спектрометрии. Этот комплекс впервые в одних и тех же условиях в широкой области температур и покрытий позволил провести законченное, самодостаточное исследование энергети-

ки взаимодействия атомов Sm, Eu и Yb с поверхностью Si(111), механизмов и кинетики формирования границ раздела, их атомной структуры, электронных и термических свойств. Полученные результаты в настоящее время аналогов не имеют.

Изучен механизм формирования указанных плёночных структур. Показано, что этот механизм в широкой области температур подобен механизму Странского–Крастанова: вначале на поверхности кремния формируется упорядоченная двумерная адсорбированная плёнка РЗМ, а затем на этой плёнке растут 3D-кристаллиты. Отличие от классического механизма состоит в том, что кристаллиты образованы химическим соединением между атомами металла и кремния — силицидами РЗМ. Атомы металла доставляются в кристаллиты из газовой фазы, а атомы кремния — из подложки путём диффузии через адсорбированный слой.

Показано, что адсорбированная плёнка растёт островками. Структура 2D-доменов меняется дискретным образом при увеличении степени покрытия. Определены интервалы покрытий, в которых формируются домены определённой структуры. Установлено, что образование доменов сопровождается согласованной с их структурой реконструкцией поверхности кремния. Результатом указанной самоорганизации системы является понижение её энергии и связанное с ним значительное упрочнение (в некоторых случаях — более чем на 1.5 эВ) связи атомов РЗМ с поверхностью. Термическая стабильность 2D-доменов и энергия удаления атомов РЗМ из них в вакуум уменьшаются по мере уплотнения двумерных структур.

В широкой области покрытий исследованы концентрационные зависимости работы выхода плёночных структур РЗМ-Si(111), сформированных в диапазоне температур 300–1140 К. Эти исследования позволили установить, что образование 2D-доменов является термически активированным процессом. Работа выхода поверхности кремния, покрытой такими доменами, уменьшается по мере уплотнения решётки адсорбированной плёнки. После частичного (в случае Sm) или полного (в случае Eu или Yb) формирования адсорбированной фазы на поверхности кремния начинается рост 3D-кристаллитов силицидов РЗМ. Показано, что форма этих островков зависит от температуры монокристалла кремния, при которой на его поверхность наносится редкоземельный металл. В системах Eu-Si(111) и Sm-Si(111) при увеличении температуры возрастает отношение высоты кристаллитов к площади их основания. Фазовый состав плёнки силицида европия зависит от температуры, в то время как для силицида самария такой зависимости не наблюдается.

Изучена термическая стабильность и исследован механизм испарения

плёнок силицидов РЗМ. Определены энергия активации процесса разложения этих плёнок и их работа выхода.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Министерства науки и технологий РФ.

О применении численных схем, основанных на решении задачи Римана в задачах динамики многокомпонентного газа

Ю. А. Куракин

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

Численные методы, основанные на решении задачи Римана, впервые предложенные С. К. Годуновым, в настоящее время широко используются для расчета разрывных течений газа. Хорошее разрешение скачков газодинамических переменных, а также консервативность позволяют производить сквозной расчет ударных волн и контактных разрывов в газах. В докладе обсуждается один из вариантов применения таких схем для расчета течений вязкого многокомпонентного газа.

Решается система уравнений Эйлера динамики многокомпонентного газа в консервативной форме записи, дополненная правой частью, отвечающей за химические реакции в газе. Производится расщепление исходных уравнений по физическим процессам, в рамках которого на первом этапе перехода на новый временной слой химические реакции считаются замороженными, то есть правая часть принимается равной нулю; на втором этапе рассчитывается приращение газодинамических переменных внутри контрольного объема за счет химических реакций.

Для реализации первого этапа предлагаются две численные схемы: в одномерном случае — характеристическая схема, в двумерном случае — модифицированный метод Родионова. Основные принципы построения схем следующие: это явные схемы конечных объемов типа предиктор–корректор второго порядка точности по времени и по пространственным координатам в областях гладкого решения. Монотонность схем обеспечивается за счет TVD ограничителей, понижающих порядок аппроксимации схем в областях немонотонности решения. Газодинамические потоки, определяющие приращение консервативных переменных в контрольном объеме, находятся из решения задачи о распаде произвольного разрыва на его гранях в газах с разным показателем адиабаты.

Для сравнения рассматривается распределение параметров газа в релаксационной зоне за фронтом нестационарной ударной волны, получено

хорошее совпадение решения по рассматриваемой схеме с точным. Приводятся примеры расчетов. Для повышения точности разрешения особенностей течения схемы применялись совместно с динамически адаптирующейся сеткой.

О применении технологии коллективной работы в Интернет при решении научных и технических задач

А. В. Лебедев, В. А. Сороцкий

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Развитие компьютерных средств телекоммуникаций обусловило появление новой информационной технологии, известной под названием GroupWare. Суть ее состоит в том, что несколько удаленных друг от друга групп специалистов осуществляют совместную работу над общим проектом, взаимодействуя друг с другом посредством компьютерных средств телекоммуникаций.

В настоящее время ряд известных фирм (Microsoft, Netscape, Intel, NetSpeak, CineCom и др.) уже выпускает программно-аппаратные продукты, позволяющие реализовать эту технологию. Среди них можно отметить [1]:

- средства телефонии Internet;
- системы видеоконференцсвязи в Internet и цифровой сети интегрального обслуживания (ISDN);
- средства коллективной работы с документами в Internet и ISDN (виртуальная рабочая доска).

Являясь универсальными и очень удобными средствами при обмене аудио-, видео-, графической или текстовой информацией, рассматриваемые программно-аппаратные средства коллективной работы практически неприменимы, когда в процессе совместного проектирования используется несовместимое по формату специализированное программное обеспечение, например, программы для расчета радиоэлектронных схем. В этой ситуации возникает необходимость разработки специальных программ с использованием языков программирования, поддерживающих сетевые возможности компьютеров. Такими языками являются *C++*, *Delphi*, *Java* и др. Стоит заметить, что использование языка *Java* предпочтительнее, потому что большинство общеупотребительных Windows-интерфейсов уже «заложено» в сам язык. Кроме того, использование языка *Java* целесообразно и по следующим причинам [2]:

- получаемые в результате компиляции исходного кода файлы-апплеты имеют сравнительно малый размер, что особенно важно при работе по телекоммуникационным каналам с малой пропускной способностью;
- язык «Java» безопасен при работе в компьютерных сетях;
- получаемые в результате компиляции исходного кода байт-коды являются двоичными и не зависят от архитектуры компьютера (или от платформы), что освобождает разработчика от необходимости создавать несколько исходных текстов программ для различных платформ;
- 4. язык «Java» устойчив к ошибкам и сбоям.

Использование технологии коллективной работы в процессе решения прикладных задач и, в частности, связанных с проведением радиотехнических расчетов, приводит к необходимости разработки моделей этих устройств, процессов и т.д. на языке *Java*. Рассмотренный выше подход был апробирован при проектировании радиопередающего устройства СНЧ диапазона, предназначенного для геофизических исследований.

С целью проверки описанного выше подхода разработаны программы для сервера и клиента, а также проведено тестирование распределенной системы, предназначенной для проектирования РПДУ на основе технологии GroupWare.

Список литературы

- [1] *PC magazine* Russian Edition, 1997, № 1.
- [2] Д. Вебер *Технология Java в подлиннике*: пер. с англ. СПб.: ВHV-С.-Петербург, 1997. 1104 с.

Увеличение квантового выхода фотолуминесценции под действием 1.06 мкм излучения в квантовых точках InAs/GaAs

Д. А. Мазуренко

Балтийский государственный технический университет им. Д. Ф. Устинова

В настоящее время структуры с полупроводниковыми квантовыми точками (КТ) являются перспективным объектом для создания полупроводниковых лазеров на их основе с высокой температурной стабильностью и с рекордно низкими величинами порогового тока. Специфические условия выращивания структур с КТ приводят к возникновению дефектов, являющихся

центрами безызлучательной рекомбинации, что приводит к увеличению порогового тока лазеров на основе таких структур. В настоящей работе изучается эффект увеличения квантового выхода из InAs/GaAs квантовых точек под действием подзонной 1.06 мкм подсветки при $T = 77$ К. Исследуемые четыре образца были выращены методом МВЕ на полуизолирующей подложке GaAs с ориентацией (311)В и (100). Фотолюминесценция (ФЛ) возбуждалась межзонным светом He-Ne лазера (633 нм) с плотностью 0.1–10 Вт/см². Образец дополнительно подсвечивался подзонным инфракрасным 1.06 мкм излучением YAG:Nd лазера с плотностью на образце до 100 Вт/см².

При наличии дополнительной 1.06 мкм подсветки обнаружено увеличение интенсивности ФЛ в КТ, что свидетельствует об увеличении квантового выхода под действием подзонного для КТ излучения. Максимальное относительное увеличение интенсивности ФЛ составило 40%. Обнаружено уменьшение относительного увеличения квантового выхода с ростом интенсивности межзонного возбуждения и насыщение величины эффекта с увеличением интенсивности 1.06 мкм подсветки. В рамках работы сделано предположение, что увеличение интенсивности люминесценции КТ под действием 1.06 мкм подсветки связано с высвобождением захваченных носителей из ловушек, находящихся в слое с КТ. В работе анализируется модель, в рамках которой увеличение квантового выхода происходит за счет фотоионизации ловушек, находящихся вблизи КТ, а захват носителей ловушками происходит из КТ.

Магические числа в размерной трансформации электронной структуры кластеров серебра на кремнии

С. Ю. Никонов

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

V.Mikoushkin@pop.ioffe.rssi.ru

Работа направлена на решение такой фундаментальной проблемы, как трансформация электронных свойств вещества в цепочке «отдельный атом–кластер–твердое тело». Особенностью работы было исследование указанной трансформации на поверхности твердого тела. Главная ее цель состояла в изучении закономерностей формирования электронной структуры кластеров металлов на квазиинертных поверхностях графита и кремния. Практическое значение выполненного исследования заключается в полученной возможности контролируемого создания кластерных ансамблей,

перспективных для одноэлектронных приборов.

Примененный в работе электронно-спектроскопический контроль свойств кластеров на поверхности и в объеме твердого тела дает усредненную по ансамблю информацию. Поскольку свойства кластеров зависят от их размера, необходимо создавать ансамбли с малой размерной дисперсией. Такая задача была нами решена при создании ансамблей металлических кластеров требуемого размера на поверхностях графита и кремния [1–4]. Было показано, что получаемые кластеры плоские. Выяснена природа так называемых размерных сдвигов оже- и фотоэлектронных линий, то есть изменений энергий эмиттируемых кластерами электронов при изменении размеров кластеров: сдвиги у кластеров, состоящих из нескольких атомов, обусловлены изменением энергии связи вследствие изменения межъядерного расстояния и выдвижения квазимолекулярных орбиталей. Для кластеров большего размера основная причина размерных сдвигов — изменение энергии релаксации электронной подсистемы кластера вследствие коллективизации электронов и увеличения плотности состояний вблизи уровня Ферми. Установленные закономерности позволили связать шкалу доз напыленного металла со средним числом атомов в кластерах (N) и предложить способ определения этого числа [3]. Таким образом, была решена задача контролируемого создания кластерного ансамбля с заданными параметрами и известными свойствами.

Предложенный способ определения числа N позволил установить новые закономерности в формировании электронной структуры кластеров на поверхности [4–6]. В зависимости энергии релаксации от размера кластера $R(N)$ были обнаружены особенности в виде ступенек [4]. Положение наблюдаемых особенностей в $R(N)$ коррелирует с известными «магическими» числами для свободных сферических кластеров: 2, 8, 20, 46, которые регулируют формирование электронных оболочек кластера. Таким образом, был сделан вывод о том, что электронная структура плоских кластеров на поверхности формируется в соответствии с теми же закономерностями, что и свободных сферических. Вывод представляется довольно неожиданным, поскольку симметрия сравниваемых кластеров различная. Резкость наблюдаемых ступенек свидетельствует о малом разбросе размеров кластеров в наших экспериментах.

Другой интересный результат, полученный на основе точного определения размера кластера, заключается в обнаружении эффекта немонотонного изменения спин-орбитального расщепления уровня (Δ) в процессе роста кластера на поверхности [5, 6]. Значения расщепления 3d и 4d уровней серебра были получены из спектров оже- и фотоэлектронов. Величина рас-

щепления Δ резко возрастает, затем уменьшается и осциллирует с затухающей амплитудой и частотой при слиянии атомов в двух-, трех- и многоатомные кластеры. Причина наблюдаемого эффекта, по-видимому, заключается в искажении электронных оболочек вследствие поляризации атомов поверхностью, которая может значительно изменяться на начальной стадии кластерообразования. Поляризация оболочки увеличивает эффективный орбитальный момент и, следовательно, спин-орбитальное взаимодействие ($\langle sl \rangle$). Внешняя 4d-оболочка поляризуется значительно сильнее, чем внутренняя 3d. Поэтому и наблюдаемый эффект значительно больше для 4d-оболочки несмотря на на порядок меньшее спин-орбитальное расщепление.

Результаты, полученные в исследовании кластеров на поверхности, были использованы для разработки диагностики кластеров меди в объеме диэлектрической SiO_2 -матрицы [7–9].

Работа выполнена при финансовой поддержке МНТП России (программа «Физика твердотельных наноструктур», проект № 97-3-005), а также при содействии Санкт-Петербургского объединенного центра коллективного пользования.

Список литературы

- [1] M. V. Gomyounova, Yu. S. Gordeev, V. M. Mikoushkin, I. I. Pronin, S. E. Sysoev, V. V. Shnitov, *Phys. Low-Dim. Struct.* **4/5** 11–22 (1996).
- [2] Ю. С. Гордеев, *Поверхность*, 1998. (Invited lecture in Russian German Workshop *Perspectives of Synchrotron Radiation in Atomic-, Molecular and Material Sciences*, St. Petersburg, 28–30 Jun. 1997.)
- [3] В. М. Микушкин, С. Е. Сысоев, *ФТТ*, **386** № 2, 558 (1996).
- [4] Yu. S. Gordeev, M. V. Gomyounova, V. M. Mikoushkin, S. Yu. Nikonov, I. I. Pronin, E. Shecka, S. E. Sysoev, *XX International Conference on the Physics of Electronic and Atomic Collisions (XX ICPEAC)*, Vienna, Austria, 23–29 July 1997, Abstracts of Contributed Papers, FR 107. (Edited by F. Aumayer, G. Betz and H. P. Winter.)
- [5] Yu. S. Gordeev, V. M. Mikoushkin, S. Yu. Nikonov, S. E. Sysoev, *17th Europ. Conf. Surface Sci. (ECOSS-17)*, The Netherlands, September 25 th, 1997, Europhysics Conference Abstracts, TuAP62.
- [6] V. M. Mikoushkin, *6th EPS Conf. Atomic and Molec. Phys.*, Siena, Italy, 14–18 July 1998, Contributed Papers, Inv 41. (Ed. C. Biancalana, P. Bicchi, E. Mariotti, Published by European Physical Society, Series Ed. Dr. R. Pick, Paris, Volume 22D)
- [7] С. А. Гуревич, Т. А. Зарайская, В. М. Микушкин, С. Ю. Никонов, С. Е. Сысоев, В. В. Хоренко, В. В. Шнитов, Ю. С. Гордеев, *ФТТ* **39**, № 10, 1889–1894 (1997).
- [8] С. А. Гуревич, Ю. С. Гордеев, Т. А. Зарайская, С. Г. Конников, В. М. Микушкин, С. Ю. Никонов, А. А. Ситникова, С. Е. Сысоев, В. В. Хоренко, В. В. Шнитов, 3-я *Всероссийская конференция по физике полупроводников Полупроводники-97*, 1–5 декабря 1997, Москва, Тезисы докладов, с. 316.

- [9] Yu. S. Gordeev, S. A. Gurevich, T. A. Zaraiskaya, S. G. Konnikov, V. M. Mikoushkin, S. Yu. Nikonov, A. A. Sitnikova, S. E. Sysoev, V. V. Khorenko and V. V. Shnitov, *6th Int. Symp. Nanostructures: Physics and Technology*, St. Petersburg, Russia, 22–26 June, 1998, Proceedings, p. 436–439.

Численное моделирование деформирования и разрушения сред с полиморфными фазовыми переходами

Е. А. Ноткина, А. В. Чижов, А. А. Шмидт

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

Elena.Not@pop.ioffe.rssi.ru

Работа посвящена построению численного алгоритма моделирования ударно-волнового деформирования и разрушения конденсированной среды с полиморфными фазовыми переходами. Имеются в виду такие вещества, которые могут при разных условиях пребывать в различных кристаллических модификациях (например, железо), то есть среды, способные претерпевать полиморфный фазовый переход при прохождении ударных волн. Такие среды обладают интересными для изучения свойствами, такими как: образование в них ударных волн разрежения, расщепление волновых фронтов. В процессе работы составляется программа, которая позволяет получить картины распространения возмущений в двумерном образце произвольной заданной формы и его разрушения при импульсном нагружении. Эта программа необходима для разработки и оптимизации различных технологий, в частности, технологии разделки взрывом крупногабаритных металлических конструкций. Численное моделирование позволяет выявить наиболее характерные черты изучаемого явления и понять механизм происходящих процессов. Кроме того оно дает возможность детально сопоставить расчетные данные с контролируемыми в экспериментах параметрами и ответить на вопрос об адекватности модельных представлений реальному физическому процессу и предсказать характер явления в более сложных неоднородных задачах, а также позволяет исследовать неизвестные свойства материалов.

В процессе работы сформулирована математическая модель взрывного и ударного деформирования среды в одномерном и двумерном случаях. Полиморфный фазовый переход учитывается особой формой уравнения состояния. Кроме того, в модели учтены упругая и пластическая фазы деформации материала. В рамках упрощенной модели деформирования материалов с фазовыми переходами, основанной на уравнениях баротропной сжимаемой жидкости, реализованы 3 алгоритма расчета ударно-волновых

деформаций. Проведен их анализ на примере одномерной тестовой задачи, позволяющей оценить основные характеристики схем (монотонность, точность, консервативность, способность локализовывать разрывы). В качестве такой задачи рассматривалась задача о распаде разрыва поля давления. При этом варьировалось начальное давление таким образом, чтобы реализовывались разные режимы распространения волн (без особенностей, связанных с наличием фазового перехода; со скачком разрежения; с расщеплением фронта ударной волны сжатия). Результаты моделирования сравнивались с аналитическими решениями задачи. Были рассмотрены: схема Куропатенко, TVD схемы для уравнений в эйлеровых (схема Хартена) и лагранжевых координатах. Проведенный анализ позволил выбрать численный метод, который обеспечивает адекватное описание распространения возмущений в средах с аномальными свойствами. Этот метод представляет собой TVD-схему для уравнений, записанных в эйлеровых координатах. Для удобства описания деформации свободных поверхностей в эйлерову схему Хартена был введен дополнительный лагранжево-эйлеров этап, а именно, лагранжево-перестроение сетки на каждом шаге по времени. Оценки показали, что для больших давлений (сотни ГПа) зависимость давления от температуры становится существенной. Поэтому модель была обобщена таким образом, чтобы она позволяла учитывать эту зависимость. При решении двумерной задачи, для того, чтобы получить достоверные результаты при реальных компьютерных ресурсах, используется неструктурированная адаптивная расчетная сетка, учитывающая особенности рассматриваемых течений. В этом случае увеличение точности достигается путем сгущения узлов в областях больших градиентов полей физических величин. Расчеты производились для железа. Получены поля давления и скорости при соударении двух плоских пластин и при взрыве на поверхности слоя железа. Показано, что существует три качественно различных режима распространения импульса нагрузки в образце. Получены подробные картины распространения и взаимодействия волн в двумерном железном образце при взрыве на его поверхности с параметрами, соответствующими условиям промышленной резки с помощью параллельных ленточных зарядов.

Ренормгрупповой расчет константы связи g_6 двумерной модели Изинга

Е. В. Орлов, А. И. Соколов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

Работа посвящена исследованию критического поведения двумерной модели Изинга. Этой моделью описываются фазовые переходы второго рода в легкоосных двумерных и квазидвумерных ферромагнетиках. Данная работа посвящена вычислению универсальной безразмерной константы связи g_6 в разложении свободной энергии двумерной модели Изинга. Для нахождения этой константы используется метод ренормализационной группы, работоспособность которого неоднократно апробировалась на трехмерных моделях [1–4]. На языке диаграммной техники Фейнмана строится ряд теории возмущений для полной вершины Γ_6 ; она вычисляется в четырехпетлевом приближении. Диаграммный ряд для Γ_6 , представляющий собой разложение полной вершины на нулевых внешних импульсах. Ренормгрупповой ряд для константы g_6 оказался знакопеременным с растущими по модулю коэффициентами. Поэтому нахождение универсального значения g_6 потребовало пересуммирования этого ряда, для чего был применен метод Паде–Бореля–Леруа. Использование для аналитического продолжения борелевского образа аппроксиманты Паде [1, 2] привело к оценке $g_6 = 2.94$, которая оказалась в прекрасном согласии с результатом $g_6 = 2.95$, полученным недавно другим методом [5].

Список литературы

- [1] A. I. Sokolov, E. V. Orlov, V. A. Ul'kov, *Phys. Lett. A*, 255 (1997).
- [2] R. Guida, J. Zinn-Justin, *Nucl. Phys. B*, 626 (1997).
- [3] А. И. Соколов. *ФТТ*, 1284 (1998).
- [4] A. I. Sokolov, E. V. Orlov, V. A. Ul'kov, S. S. Kashtanov, *Phys. Rev. E*, 1344 (1999).
- [5] G. A. Baker, B. G. Nickel, D. I. Meiron, *Phys. Rev. B*, 1365 (1978).

Смеси блок-сополимеров: микро- и макрофазовое расслоение

А. А. Полоцкий, Т. М. Бирштейн

Институт высокомолекулярных соединений РАН

polotsky@imc.macro.ru

Блок-сополимеры представляют собой макромолекулы, состоящие из двух или более связанных между собой полимерных цепей разного химического состава. Такое соединение компонентов разной природы обуславливает особые свойства, присущие блок-сополимерам. Особый интерес пред-

ставляют случаи, когда составные блоки проявляют сильную несовместимость друг с другом: взаимодействие между звеньями различных блоков невыгодно по сравнению со взаимодействиями одноимённых звеньев. Несовместимость приводит к тому, что в системе происходит микрофазовое расслоение - блоки сегрегируют, образуя индивидуальные домены, в расположении которых имеется определённый порядок. Происходит образование так называемой суперкристаллической структуры (суперструктуры) определённой морфологии, которая зависит в первую очередь от состава блок-сополимера, а также от энергий взаимодействия между различными парами блоков (последний фактор, однако, не существенен для случая диблок-сополимеров, состоящих из двух блоков). Синтезируя блоксополимеры с блоками различной длины, можно получать суперструктуры различной морфологии. Однако, существует альтернативный способ регулирования морфологии суперструктуры (получения суперструктур с желаемыми характеристиками), который состоит в смешении различных блок-сополимеров.

В настоящей работе, в частности, теоретически исследуется возможность влиять на суперструктуру, образуемую линейным триблоксополимером ABC, добавляя к нему диблоксополимер ab. Мы рассмотрели частный случай, когда длины блоков A и a, а также длины блоков B и b, соответственно равны.

Модификация суперструктуры может произойти только тогда, когда три- и диблок-сополимеры смешиваются на молекулярном уровне и образуют так называемую смешанную суперструктуру. На примере плоской ламелярной и трёх цилиндрических морфологий показано, что, в зависимости от индивидуальных характеристик компонентов смеси, система ведёт себя одним из трёх нижеследующих способов:

- компоненты не смешиваются и полностью сегрегируют (макрофазовое расслоение микрофазно-сегрегированных компонентов);
- ab смешивается с ABC, но изменения морфологии при этом не происходит. При этом следует заметить, что «ёмкость» образующейся смешанной суперструктуры относительно диблок-сополимера ab ограничена, поэтому если ab в смеси много, то только часть его входит в смешанную суперструктуру, а избыток образует свою суперструктуру. Таким образом, в этом случае наряду с микрофазовым будет иметь место и макрофазовое расслоение;
- смешиваясь с ABC, ab изменяет изначальную морфологию его суперструктуры. При небольшом содержании диблок-сополимера ab в смеси часть ABC будет оставаться в чистом виде (не связанной с ab). Дальнейшее увеличение содержания ab в смеси приведет к полному

связыванию им ABC и образованию единой смешанной суперструктуры новой морфологии, «ёмкость» которой относительно диблоксополимера ab ограничена (см. предыд. пункт.)

Работа выполнена при поддержке грантов М99-2.4К-464, РФФИ № 99-03-33319 и ФЦП «Интеграция» № 326.38

Теория флуктуаций интенсивности электронного циклотронного излучения в токамаках

А. Д. Пилия, А. Ю. Попов

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

a.popov@pop.ioffe.rssi.ru

Измерение интенсивности электронного циклотронного излучения в настоящее время является мониторинговой диагностикой для определения профиля электронной температуры в токамаках. Эта интенсивность испытывает временные флуктуации, изучение которых может дать интересную дополнительную информацию о процессах, их вызывающих. Существует две причины, приводящих к флуктуациям интенсивности ЭЦ излучения: во-первых, случайный характер «черного» излучения и, во-вторых, присутствие в плазме низкочастотной дрейфовой турбулентности. Экспериментально эти две компоненты могут быть разделены с помощью корреляционных измерений, с использованием сигналов, излучаемых в двух разных пространственных точках плазменного объема. Подобные измерения были выполнены на нескольких больших установках [1, 2]. Для интерпретации полученных таким образом экспериментальных данных необходима теория, адекватно описывающая процесс модуляции интенсивности ЭЦ излучения низкочастотными турбулентными пульсациями.

В настоящей работе предлагается последовательная кинетическая теория флуктуации интенсивности ЭЦ излучения, генерируемой слабой низкочастотной турбулентностью. Показано, что эти флуктуации не связаны непосредственно с флуктуациями средней энергии электронов. Для случайной дрейфовой турбулентности установлена связь между пространственным спектром турбулентности и измеряемой на опыте корреляционной функцией сигналов. Детально проанализирована ситуация с квазиперпендикулярным излучением обыкновенной волны.

Расчет характеристик планарных линий передачи со слоистым диэлектрическим заполнением модифицированным методом коллокаций

А. Г. Резванов

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Цель настоящей работы — построение универсальной процедуры для эффективного численного расчета электромагнитного поля волны низшего типа (квази-ТЕМ волны) в планарной линии передачи общей структуры со слоистым диэлектрическим заполнением, которая легко трансформируется в микрополосковую, щелевую, копланарную (симметричную и несимметричную) линии, включая случай произвольного числа токонесущих полосок.

Известно большое количество работ, посвященных теоретическому и экспериментальному исследованию электромагнитного поля планарных линий передачи различного типа. Одним из широко используемых методов расчета электромагнитного поля линий является метод конформных отображений (см., например [1, 2]). Однако в большинстве случаев для линий сложной структуры со слоистым диэлектрическим заполнением данный метод не применим, и приходится использовать численные методы, например, итерационный метод [3].

В данной работе для численного расчета электромагнитного поля обобщенной планарной линии передачи со слоистым диэлектрическим заполнением использовалась предложенная в [4] модификация метода коллокаций, применимая для прямоугольных частичных областей. Это позволило избежать привлечения к расчету итерационных процедур и найти электромагнитное поле с достаточной для большинства практических случаев степенью точности. Особенности применяемого для расчетов модифицированного метода коллокаций обсуждаются в работе.

Разработана интерактивная программа [5] (пакет MathCad) для расчета электромагнитного поля планарной линии передачи общей структуры со слоистым диэлектрическим заполнением. Применение модифицированного метода коллокаций позволило сократить время счета по сравнению, например, с часто используемыми итерационными процедурами. Данная программа также позволяет рассчитать эффективную диэлектрическую проницаемость, волновое сопротивление и другие параметры, характеризующие указанную выше планарную линию.

С помощью разработанной программы рассчитаны характеристики симметричной копланарной линии передачи со слоистым диэлектрическим за-

полнением: построены графики компонент электрического и магнитного полей линии при различном удалении от плоскости электродов, рассчитаны эффективная диэлектрическая проницаемость и волновое сопротивление копланарной линии.

Список литературы

- [1] N. H. Zhu, E. Y. B. Pun, P. S. Chung, *IEEE Trans.* Vol. MTT-44, № 8. p. 1493–1496, (1996).
- [2] S. J. Fang, B. S. Wang, *IEEE Trans.* Vol. MTT-47, № 2. p. 238–240, (1999).
- [3] L. Thylen, P. Granstrand, *J. Opt. Commun.* 7, 11–14 (1986).
- [4] D. Marcuse, *IEEE J. Quant. Electron.* 25, № 5, 939–947 (1989).
- [5] А. Г. Резванов, *Электромагнитное поле квази-ТЕМ волн планарных линий передачи со слоистым диэлектрическим заполнением*, Депонир. в ВИНТИ, 27.07.99 г., № 2453-В99.

Проблема поперечной проводимости при сильном возмущении плотности и теория зонда в плазме пристеночной области токамаков

А. А. Ушаков

Санкт-Петербургский государственный технический университет
ushakov@phtf.stu.neva.ru

В работе исследованы механизмы поперечной проводимости в полностью ионизованной плазме в магнитном поле при сильном возмущении концентрации. Показано, что поперечную проводимость могут вызывать три процесса: ионная вязкость, инерция ионов и трение ионов о нейтральные частицы. Продольная проводимость классическая.

При малых по сравнению с температурой электронов T_e величинах перепада потенциала в плазме протекающие поперечные токи определяются только самосогласованными распределениями электрических полей [1]. Возмущение концентрации плазмы при этом мало, и его вклад в токи не существен. Распределения полей и характерные продольный l_{\parallel} (определяется продольной проводимостью) и поперечный R_0 (определяется поперечной проводимостью) масштабы задачи вычисляются из уравнений модели. Применительно к проблеме стеночного зонда модель, не учитывающая возмущение концентрации, позволяет описать переходный участок вольт-амперной характеристики и получить для него универсальное выражение, не зависящее явно от механизма поперечной проводимости:

$$I = 0.5 I_i^{\text{sat}} \frac{eV}{T_e} \frac{S^{\text{return}}}{S^{\text{probe}}},$$

где I — ток зонда, I_1^{sat} — ионный ток насыщения на зонд, e — заряд электрона, V — потенциал зонда относительно стенки, S^{return} — площадь области сбора обратного тока на стенке, S^{probe} — проективная площадь зонда; коэффициент 0.5 получен из аналитических и численных расчётов.

При больших перепадах потенциала в плазме вклад в поперечный ток членов, связанных с возмущением концентрации является решающим. Модель поперечной проводимости, учитывающая возмущение концентрации, позволила описать неоднородные структуры электрических полей, токовых систем и потоков частиц вблизи стеночного зонда в пристеночной области токамака в режиме, когда зонд собирает электронный ток насыщения [2]. Величина электронного тока насыщения определяется диффузией электронов в область сильного обеднения концентрации вблизи зонда. Характерные продольный и поперечный масштабы при этом те же, что и в случае невозмущённой концентрации.

Были проведены численные расчёты вольтамперной характеристики зонда для поперечной проводимости, вызванной трением ионов о нейтральные частицы. Результаты численного моделирования подтвердили аналитические оценки для величины электронного тока насыщения:

$$I_e^{\text{sat}} \sim keDn_0l_{\parallel}/R_0,$$

где D — коэффициент диффузии, n_0 — невозмущённая концентрация; коэффициент k по результатам численных расчётов составляет порядка 1.25.

Результаты работы сравнивались с данными, полученными на токамаке ASDEX-Upgrade и показали хорошее согласие.

Список литературы

- [1] V. A. Rozhansky, A. A. Ushakov, S. P. Voskoboynikov, *Nuclear Fusion*, **39**, No 5, 613 (1999).
- [2] V. Rozhansky, A. Ushakov, I. Veselova, *26 EPS Conf. Contr. Fusion and Plas. Phys.*, 23J, p. 841, 1999.

Многоступенчатая лазерная ионизация паров 1,4-дигидроксибензола и 1,2-диметоксибензола

М. Е. Акоюян, В. И. Клейменов, М. В. Клейменов, *А. Г. Феофилов*
Санкт-Петербургский государственный университет

С использованием методов спектроскопии полного тока, масс-спектрометрии, электронной спектроскопии и спектроскопии пороговых электронов изучены процессы ступенчатой ионизации паров 1,4-дигидроксибензола

(гидрохинона) излучением в области 315–275 нм и паров 1,2-диметоксибензола излучением в области 295–275 нм.

Для гидрохинона установлено, что при интенсивности лазерного излучения до $\sim 10^7$ Вт/см² доминирует процесс двухступенчатой ионизации с генерацией молекулярных ионов. При увеличении интенсивности излучения происходит все более сильная и глубокая фрагментация за счет диссоциации молекулярного и, возможно осколочных, ионов в результате поглощения по крайней мере еще одного фотона. Обнаружен медленный процесс образования ионов $C_6H_4O^+$ с эффективной константой скорости порядка 10^6 с⁻¹. Для 1,2-диметоксибензола установлено, что при средней интенсивности лазерного излучения меньше 10^6 Вт/см² доминирует процесс двухступенчатой ионизации через первое возбужденное электронное состояние молекулы с генерацией молекулярных ионов. Образующиеся молекулярные ионы обладают заметной (до 1 эВ) энергией колебательного возбуждения. При увеличении интенсивности лазерного излучения происходит все более сильная и глубокая фрагментация за счет диссоциации молекулярного и, возможно, осколочных ионов в результате поглощения по крайней мере еще одного фотона.

Импедансные граничные условия для сеток из параллельных проводников

В. В. Яценко

Санкт-Петербургский государственный технический университет
vlad@radio.stu.neva.ru

Электромагнитные свойства сетчатых структур ввиду значимости множества их применений серьезно изучаются в последние несколько десятилетий. Для сеток из параллельных тонких проводников, возбуждаемых плоской волной, точное решение для комплексных амплитуд токов в проводах может быть выражено через ряд по функциям Ханкеля. Этот ряд сходится довольно медленно, но сходимое можно улучшить, используя правило суммирования Пуассона или некоторые другие способы. Однако, результат все равно остается выраженным в виде ряда нерациональных функций волнового вектора и других параметров и может быть непосредственно применен только к возбуждаемым плоской волной бесконечным структурам. Для практических же задач недостаточно знать Фурье-образы полей и токов. В этих случаях необходимо иметь эффективные граничные условия на поверхности сетки, связывающие усредненное электрическое поле

с усредненным током (или с усредненными магнитными полями на обеих поверхностях сетки). Такие граничные условия, так называемые *усредненные граничные условия*, известны для густых сеток [4], у которых расстояние между проводниками (период сетки) много меньше длины волны. Эти условия являются импедансными граничными условиями второго порядка, а возможность их применения определяется двумя ограничениями: (1) период сетки много меньше длины волны, (2) радиус проводов много меньше, чем период сетки.

В настоящей работе описывается метод, позволяющий находить эффективные граничные условия, применимые не только для густых сеток, но и для таких, у которых расстояние между проводниками сравнимо с длиной волны. При выводе усредненных граничных условий решение дифракционной задачи для плоских волн производится в Фурье-области и основано на точном аналитическом суммировании полей отдельных проводов. Использование разложения в ряд Тейлора позволяет написать приближенное импедансное граничное условие на поверхности сетки. Для перехода к реальным полям и токам применяется обратное преобразование Фурье. Описанный метод позволяет получать усредненные граничные условия любого порядка. В данной работе в явном виде найдены условия с тангенциальными производными второго, четвертого и шестого порядков от усредненного тока. Во втором порядке данный метод, как и ожидалось, дает такой же результат, как и известный подход Конторовича. Полученные численные примеры демонстрируют, что решения для отраженного поля имеют очень хорошую точность для сеток с расстоянием между проводниками вплоть до половины длины волны падающего поля.

Список литературы

- [1] J. R. Wait, *Reflection at arbitrary incidence from a parallel wire grid*, vol. BIV, pp. 393–400, March 1954;
- [2] J. R. Wait, *Reflection from a wire grid parallel to a conducting plane*, vol. 32, pp. 571–579, September 1954.
- [3] Г. З. Айзенберг, В. Г. Ямпольский, О. Н. Терешин, *Антенны УКВ*, часть 2, М.: Связь, 1977, стр. 158–168.
- [4] М. И. Конторович, М. И. Астрахан, В. П. Акимов и др. *Электродинамика сетчатых структур*, М.: Радио и связь, 1987.

Дипломные проекты

Гидродинамические свойства комплекса иономер поверхностноактивное вещество в м-ксилоле

Д. У. Алекберов, Е. А. Антонов

Санкт-Петербургский государственный университет

Известно, что притяжение между ионогенными группами, входящими в состав молекул иономеров, приводит к компактизации полимерных клубков и образованию межмолекулярных агрегатов в слабополярных средах. В настоящей работе методами вискозиметрии, поступательной диффузии и рефрактометрии исследованы процессы комплексообразования в растворах иономера — сульфированного полистирола (СПNa, степень полимеризации 1000, содержание сульфогрупп 1.35% мол.) и бис-(2-этилгексил)сульфосукцината натрия (аэрозоль ОТ, АОТ) в м-ксилоле.

Обнаружено, что увеличение в растворе СПNa концентрации молекул АОТ вызывает возрастание размеров молекул иономера и ослабление межцепного агрегирования. Установлено, что при соотношении $[\text{СПNa}]/[\text{АОТ}] = 2,5$ осново-моля размеры молекул иономера практически совпадают с размерами молекул полистирола с той же степенью полимеризации и в том же растворителе. Анализ молекулярно-массовых характеристик иономеров в системе СПNa–АОТ, а также данные рефрактометрии показывают, что в растворе иономер–АОТ происходит образование полимер-коллоидных комплексов (ПКК). Следствием процесса комплексообразования является разрушение как меж- так и внутрицепных ассоциатов иономеров за счет замены контактов между ионогенными группами молекул СПNa на контакты с сульфогруппами молекул АОТ.

Самоупорядоченные микрорезонаторы в кремниевых наноструктурах

*Н. Т. Баграев†, А. Д. Буравлев†, Л. Е. Клячкин‡, А. М. Маляренко†,
С. А. Рыков‡*

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

‡ Санкт-Петербургский государственный технический университет

bour@twonet.stu.neva.ru

Сканирующая туннельная микроскопия используется для регистрации топографических изображений поверхности сверхмелких диффузионных про-

филей бора в кремнии (100). Данная методика позволяет исследовать влияние флуктуаций поверхностного деформационного потенциала, зависящих от толщины предварительно нанесенного слоя окисла, на кристаллографическую ориентацию потоков неравновесных вакансий и собственных межузельных атомов, которые стимулируют обменные механизмы примесной диффузии. Впервые демонстрируются самоупорядоченные системы квантовых анти-точек, которые формируются вследствие флуктуаций поверхностного деформационного потенциала и представляют собой микродефекты, проникающие сквозь диффузионный профиль легирующей примеси. Анализ полученных топографических изображений показывает, что разброс в размерах квантовых анти-точек нивелируется при увеличении температуры примесной диффузии. Кроме того, размеры квантовых анти-точек взаимосвязаны с их пространственным распределением, что указывает на фрактальный механизм формирования самоупорядоченных нуль-мерных систем в условиях сильного взаимодействия неравновесных потоков примесных атомов и первичных дефектов. Получение самоупорядоченных квантовых анти-точек, встроенных в систему кремниевых квантовых ям, делает возможным создание микрорезонаторов с распределенной обратной связью, характеристики которых идентифицируются с помощью спектральных зависимостей коэффициентов отражения и пропускания соответственно в видимом и инфракрасном диапазоне длин волн.

Исследование роли транскрипционных факторов TCF в регуляции протоонкогена c-fos в E1A+c-Ha-ras трансформированных фибробластах

М. В. Васильева

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Известно, что стимуляция покоящихся клеток сывороткой ведет к переходу клеток к пролиферации, что сопровождается экспрессией генов «немедленного раннего ответа», среди которых особый интерес представляет протоонкоген c-fos. Кратковременная активация экспрессии c-fos имеет важное значение для перехода клеток из фазы G₀ в фазу G₁ клеточного цикла. Продукт гена c-fos образует гетеродимер с белками семейства c-jun, формируя транскрипционный комплекс AP-1. Регуляторные элементы, связывающие AP-1 фактор, обнаружены в промоторах многих генов, продукты которых необходимы для прохождения клеточного цикла.

Протоонкоген c-fos находится под негативным контролем и не активи-

руется при действии ростовых факторов сыворотки в клетках, трансформированных комплементирующими онкогенами E1A и c-Na-gas. Установлено, что репрессия гена c-fos связана с находящимся в его промоторе регуляторным элементом SRE (serum response element), который постоянно оккупирован белковым комплексом транскрипционных факторов: димером SRF и мономером TCF. Исследование популяций E1A+c-Na-gas-трансформантов с интегрированной в геном индикаторной плазмидой fos-CAT, несущей мутации в местах связывания транскрипционных факторов TCF и SRF промотора c-fos, показало, что транскрипционная активность таких мутантных конструкций возрастала примерно в 10 раз. По-видимому, мутантный SRE элемент не способен связывать определенные негативные транскрипционные факторы, которые взаимодействуют с нативным промотором c-fos и обуславливают его репрессию в E1A+c-Na-gas-трансформированных клетках. Другим объяснением может быть измененный статус фосфорилирования транскрипционных факторов, прежде всего TCF, на которых осуществляется передача сигнала через различные протеинкиназные каскады при действии ротовых факторов и стрессорных условий.

Мы показали, что в E1A+c-Na-gas-трансформантах значительно повышено содержание ядерных белков, имеющих ДНК-связывающий мотив Ets, включая TCF, по сравнению с нормальными эмбриональными фибробластами крысы (ЭФР). С помощью иммуноблоттинга установлено, что доминирующим белком TCF в E1A+c-Na-gas-трансформированных клетках является фосфорилированный Net, тогда как в ЭФК превалирует SAP-1. Другой представитель TCF белков Elk-1 экспрессируется в обеих клеточных линиях на одинаковом уровне, и характер его экспрессии не меняется различными условиями культивирования клеток. Кроме того, белок Elk-1 потенциально способен фосфорилироваться как в ЭФК, так и в еще большей степени в E1A+c-Na-gas-трансформантах, при стимуляции сывороткой. При этом киназы, ассоциированные с Elk-1, способны фосфорилировать его в той же степени, что и тотальные протеинкиназы, только в ЭФК, тогда как в E1A+c-Na-gas-трансформантах уровень их активности был весьма низок и не регулировался сывороточной стимуляцией.

Исследование активности протеинфосфатаз в клетках ЭФК и Eras10, способных дефосфорилировать GST-Elk-C, показало, что общий уровень активности таких протеинфосфатаз выше в E1A+c-Na-gas-трансформированных клетках, чем в ЭФК.

Создание библиотеки кДНК и экспрессия кДНК гена глюкламилазы из грибного штамма *Aspergillus awamori* var.X-100

И. В. Гончар

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Предметом исследований является фермент глюкоамилаза, принадлежащий к классу карбогидраз (α -1,4-глюкан-глюкогидролаза, КФ 3.2.1.3) и катализирующий реакцию гидролиза α -1-4-D-гликозидных связей в полимерах и олигомерах глюкозы. Данный фермент входит в число наиболее интенсивно используемых в мире и применяется в основном для получения глюкозы из крахмала, с последующим производством глюкозо-фруктозных сиропов. В мире производство глюкоамилаз составляет несколько тысяч тонн в год. Этот фермент используется микроскопическими (мицелиарными) грибами в экзоклеточной секретлируемой форме, что обеспечивает способность микроорганизмов расти на крахмалосодержащих средах. Физиологическое значение глюкоамилазы для высших животных и растений пока не установлено, хотя известно, что недостаток глюкоамилазы в организме вызывает развитие серьезных заболеваний.

Объектом исследований является грибной штамм *Aspergillus awamori* var.X-100. Причинами интереса к подобным организмам являются простота организации и возможность их использования в качестве продуцентов различных первичных и вторичных метаболитов и рекомбинантных белков, представляющих большой интерес для фармацевтической промышленности и биотехнологии. Большинство из известных грибных глюкоамилаз имеют рН-оптимум в области 4-5 единиц рН и изоэлектрические точки — от 3 до 5 единиц рН. Оптимум температурной активности большинства глюкоамилаз находится в области 50–65 °С, тогда как собственная температурная стабильность сохраняется до 50–55 °С. Таким образом существует актуальная проблема изменения свойств глюкоамилазы в целях её эффективного промышленного использования. Подобные задачи могут быть решены с помощью метода сайт-направленного мутагенеза, который является также и мощным методом для исследования молекулярного механизма ферментативного катализа. Таким образом, данные исследования представляют интерес с практической и фундаментальной точки зрения.

На данный момент основной задачей является создание библиотеки кДНК грибного штамма *Aspergillus awamori* var.X-100 с целью клонирования кДНК глюкоамилазного гена, необходимой для изучения работы последнего в прокариотических и эукариотических, экспрессионных системах с последующим проведением экспериментов по сайт-направленному

мутагенезу. На данный момент заканчивается работа по клонированию кДНК гена глюкоамилазы и проводятся эксперименты по созданию экспрессионной системы в грибном штамме *A.niger*. Анализ активности глюкоамилазы, экспрессируемой трансформированными штаммами *A.niger*, проводится с помощью глюкозоксидазной системы, специфичной в отношении β -глюкозы.

Обобщение пространственно-временного лучевого метода для электромагнитных сред с последствием

А. А. Григорьев

Санкт-Петербургский государственный университет
antongr@mail.ru

Доклад посвящен вопросам математического моделирования распространения колебаний в средах с последствием с помощью интегральных операторов [1] (рассеивающих и псевдодифференциальных) и построения асимптотического решения для полученных систем уравнений с ПДО. Процесс распространения колебаний или волн в среде обычно описывается двумя наборами уравнений: уравнениями движения и материальными уравнениями [2]. Под рассеивающим оператором понимается оператор, задающий материальные уравнения, удовлетворяющий принципу причинности, линейный и непрерывный [3]. Эти свойства оператора непосредственно соответствуют физическим свойствам моделируемой среды (далее — рассеивающая среда). Для нестационарной рассеивающей среды определен нестационарный рассеивающий оператор, задающий материальные уравнения, моделирующие процесс взаимодействия волнового поля и среды, в которой распространяются колебания. Доказана теорема об интегральном представлении для такого оператора. Теорема. Для любого нестационарного линейного рассеивающего оператора L существует представление в виде свертки Стилтжеса [3] с тензорнозначной функцией времени t и момента наблюдения t' , определенной на всей оси времени при любом t' , равной нулю при $t < 0$ при любом t' , непрерывной справа и имеющей конечную вариацию на любом замкнутом интервале времени при любом t' . Причем эта функция определяется единственным образом в своем классе. Таким образом, в рамках модели рассеивающей среды оператор L представляется в виде интегрального оператора, учитывающего временную (наследственную) зависимость между полями. Такой подход базируется на принципе наследственности, сформулированном Больцманом и получившем значи-

тельное математическое развитие в работах Вольтерра. Принцип основывается на двух гипотезах. Первая заключается в том, что поля $D(t)$ и $H(t)$ зависят не только от $E(t)$ и $B(t)$, но и от всей предыстории действия этих полей (такую среду называют средой с последствием). Вторая гипотеза гласит, что значения $E(t')$ и $B(t')$ при $t' < t$ оказывают тем меньшее влияние, чем больше времени прошло, т.е. чем больше разность $t - t'$ (такие среды называются средами с затухающей памятью). Показано, что материальные уравнения, заданные при помощи ПДО произвольного вида, для случая сред с достаточно быстро затухающей памятью имеют более общий вид, чем уравнения с рассеивающим оператором. Описаны условия, при которых ПДО является рассеивающим оператором. Установлено, что рассеивающий оператор с достаточно быстро убывающим ядром наследственности (например, ядро наследственности из класса Шварца, чему физически соответствует явление затухающей памяти) можно представить в виде ПДО, действующего на функции из области определения рассеивающего оператора так же как рассеивающий оператор. Вид такого ПДО зависит от конкретной физической постановки задачи. Показано, что класс рассеивающих операторов, продолжаемых до некоторого ПДО, достаточно широк. Это позволяет строить асимптотическое решение системы уравнений, описывающих процесс распространения колебаний в рассеивающей среде, с помощью ПВЛМ. Для этого необходимо продолжить рассеивающий оператор до ПДО и применить к полученному уравнению с ПДО ПВЛМ. В работе пространственно-временной лучевой метод (ПВЛМ) применен к уравнениям с ПДО для векторнозначных функций. Выписан общий вид лучевого разложения, уравнения эйконала и уравнений переноса для коэффициентов асимптотического ряда. Установлено, что, даже не конкретизируя вида оператора L , можно указать основные этапы решения рекуррентной системы уравнений переноса. Основное отличие от случая скалярной задачи заключается в том, что дифференциальные уравнения на коэффициенты асимптотического разложения возникают как условия разрешимости уравнения для следующего приближения и должны рассматриваться совместно с линейным уравнением переноса. Применение метода обсуждается на примере электромагнитной задачи. Установлено, что в этом случае вид уравнения эйконала сильно зависит от характера памяти среды, то есть от вида ядра релаксации.

Список литературы

- [1] А. Р. Ржаницын, *Теория ползучести* М. 1968.
- [2] Ю. Н. Работнов, *Механика деформируемого твердого тела* М. 1979.

- [3] Anders Karlsson and Gerhard Kristensson *Constitutive relations, dissipation and reciprocity for Maxwell equations in the time domain*, 1994.

Расчёт волн, распространяющихся в трёхслойной невзаимной многомодовой волноведущей структуре, методом Галёркина

К. В. Гузенко

Санкт-Петербургский государственный технический университет
guskov@radio.stu.neva.ru

Качественно новым классом антенных систем являются фазированные антенные решётки миллиметрового диапазона волн в интегральном исполнении. Они имеют целый ряд достоинств: электрическое сканирование, простота управления лучом, низкая мощность управления, малые габариты и вес, удобная не выступающая конструкция, простота изготовления, как следствие — низкая стоимость и возможность широкого применения. Основа такой антенны — открытый трёхслойный плоский ферритодиэлектрический волновод. На его верхней поверхности нанесены излучающие элементы ФАР — полосковые диполи. Нижняя поверхность экранирована. В результате изменения поперечной намагниченности феррита меняется постоянная распространения волны в волноводе, фазировка антенны и, следовательно, положение луча. Сложности построения модели такого волновода возникали из-за его невзаимности, открытости и многомодовости. Имевшиеся ранее модели с приемлемой точностью рассчитывали характеристики только основной волноводной моды. Тогда как параметры высших типов имеют не меньшее значение. Их мощность мала, но они оказывают влияние на токи, возбуждаемые в диполях, изменяя импедансные свойства последних. То есть они могут изменять диаграмму направленности антенны. В данной работе проведён полный анализ типов волн, имеющих в ферритодиэлектрическом волноводе. Для решения задачи использовался метод Галёркина. Открытый волновод дополняется до закрытого верхней и боковыми стенками. Боковые стенки могут быть как электрическими, так и магнитными. Верхняя стенка ставится на таком расстоянии от поверхности волновода, на котором поле можно считать равным нулю. Компоненты поля искомого решения представляются в виде конечных разложений по системам базисных функций. Для каждой компоненты поля берётся своя система функций и свой набор коэффициентов разложения. Базисные функции должны удовлетворять условиям на внешней границе сечения волновода для соответствующих компонент поля. В качестве базисных функций были выбраны компоненты поля мод пустого волновода с таким же

сечением — произведения тригонометрических функций поперечных координат. Полученные разложения подставляются в уравнения Максвелла и строятся невязки этих уравнений. Для минимизации невязок приравниваются нулю их проекции на соответствующее число базисных функций. Проекция строится умножением невязки на базисную функцию и интегрированием по сечению. После решения получившейся системы однородных линейных уравнений для коэффициентов разложений можно найти поле в любой точке сечения и необходимые интегральные характеристики мод. Создана программа, определяющая коэффициенты замедления распространяющихся мод, соответствующие им наборы коэффициентов разложения и нужные интегральные характеристики — коэффициенты затухания и сопротивления связи с диполями. Имеются программы для решения задачи как с электрическими боковыми стенками, так и с магнитными. Составленная программа успешно прошла проверку на простых частных случаях. Проведено сравнение с результатами расчёта по более простым моделям, построенным ранее. Сейчас эта программа активно используется для расчёта свойств волновода. Исследуется возможность управления замедлением при изменении намагничённости, затухание волн в волноводе, зависимость характеристик волновода от погрешностей его изготовления. Результаты расчётов показывают, что имеются как управляемые по замедлению моды, которые и делают возможным электрическое сканирование, так и неуправляемые. Остальные характеристики мод также существенно зависят от намагничённости.

Изучение тканеспецифической регуляции экспрессии гена церулоплазмينا в онтогенезе

Н. Е. Гюлиханданова

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Центральную роль в метаболизме меди у млекопитающих выполняют различные тканеспецифические молекулярные формы церулоплазмينا (ЦП), медьсодержащего растворимого гликопротеина. Тканеспецифические формы ЦП отличаются друг от друга по удельной ферроксидазной активности, антигенной специфичности, содержанию ионов меди, составом углеродных цепей и адаптированы для выполнения специфических функций. Ген ЦП представлен единственной копией на гаплоидный набор. Установлено, что экспрессия гена ЦП зависит от содержания меди в окружающей среде, тканеспецифична и изменяется в онтогенезе. Молекулярные механизмы, лежащие в основе изменения функций гена ЦП остаются неизвестными.

Настоящая работа посвящена выявлению и изучению специфических факторов транскрипции, участвующих в тканеспецифической регуляции экспрессии гена ЦП в течение онтогенеза. В качестве экспериментальных моделей были использованы печень взрослых и новорожденных крыс (позитивная и негативная регуляция экспрессии гена ЦП в течение онтогенеза, соответственно). С помощью гибридизации по Саузерну [^{32}P]-кДНК гена ЦП с EcoRI-рестрикционными фрагментами хромосомной ДНК печени крысы, были получены фрагменты, содержащих различные последовательности гена ЦП. Эти фрагменты (4.5, 3.1, 2.25, 0.8, 0.48 т.п.н.), кандидаты на роль участников в регуляции экспрессии гена ЦП, клонированы в плазмиде pTZ19. Выделены ядерные растворимые белки из клеток печени взрослых, новорожденных крыс и кроличьи антитела (АТ) к ним. Показаны их отличия по возрастной специфичности. Полученные фракции ядерных белков содержат полипептиды, специфически взаимодействующие с выделенными фрагментами природного гена ЦП и неспецифическими транскрипционными факторами YY и SpI. Антитела к ядерным факторам (ЯФ) печени крысы были истощены через колонку с сефарозой 2В, конъюгированной с ЯФ печени новорожденных крысят. Клонированные фрагменты природного гена ЦП иммобилизовали на нитроцеллюлозных фильтрах и связывали с ЯФ печени взрослых и новорожденных крыс. Взаимодействие ДНК с ЯФ выявляли с помощью истощенных и неистощенных АТ. Только истощенные АТ выявляли факторы, связанные с участками гена ЦП.

Полученные результаты позволяют проводить дальнейшие исследования в предположении, что подавление экспрессии гена ЦП при эмбриональном типе метаболизма меди обеспечивается присутствием специфического фактора.

Клонирование и молекулярно-генетическое исследование участка ДНК, необходимого для образования шпилек на концах линейной плазмиды N15 в клетках *E.coli*

Е. В. Дьяченко

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Объектом исследования в данном проекте является уникальная для бактерий кишечной палочки низкокопийная плаزمида N15, размером 46,33 т.п.н., представляющая собой линейную двунитевую молекулу ДНК с ковалентно-замкнутыми концами (шпильками) и являющаяся профагом умеренного колифага. В центре фаговой ДНК N15, также являющейся линейной мо-

лекулой, был обнаружен сайт telRL, в котором плазмидоспецифический фермент, названный теломеразой N15 (прокариотической теломеразой Tel) вносит ступенчатый двунилевой разрыв, что приводит вновь к образованию линейной молекулы, циклически пермутированной по отношению к исходной.

Целью работы являлось клонирование telRL-области фага N15 и ее структурный и молекулярно-генетический анализ. При этом были получены следующие результаты:

С использованием праймеров Val1 и Val2 была получена плаزمида, содержащая telRL-сайт и tos-сайты (прямые повторы, возможно необходимые для узнавания telRL-сайта теломеразой N15), а с использованием праймеров Val1 и Ryb10 плазмиды, содержащая более короткий фрагмент из этой области.

Была проверена стабильность рекомбинантных плазмид, содержащих палиндромы, в различных штаммах. Показано, что плазмиды стабильны в штамме JCB8679 и не стабильны в штамме HB101.

После инфицирования фагами N15Cm1 или N15Km19 штаммов, содержащих рекомбинантные плазмиды с фрагментами из telRL-области, наблюдается потеря последних. Эти данные свидетельствуют о том, что прокариотическая теломераза N15 может функционировать в транс-положении.

Таким образом установлено, что сконструированные плазмиды могут служить в качестве субстратов для дальнейшего исследования активности теломеразы N15 в экспериментах *in vitro* и *in vivo*.

Метод ренормгруппы в теории турбулентности двухпетлевой расчет РГ-функций и константы Колмогорова

Ю. Кабриц, М. Компаниец

Санкт-Петербургский государственный университет

kabrits@mail.marketsite.ru

Метод ренормализационной группы (РГ) является в настоящее время в теории развитой турбулентности единственным техническим приемом, позволяющим не только обосновать колмогоровский скейлинг, но и находить критические размерности составных операторов, а также величину амплитуд в скейлинговых законах. Вычисления в рамках метода РГ проводятся в виде рядов по формальному параметру разложения. Для ряда объектов критических размерностей частоты и определенного класса составных операторов удастся доказать, используя галилееву инвариантность теории, что

соответствующие ε -ряды обрываются на первом члене. Это означает, что критические размерности таких величин вычисляются методом РГ точно, и для них проблема сводится к обоснованию устойчивости неподвижной точки ренормгруппы, которую удастся проверить лишь в рамках ε -разложения. Не обрываются ε -ряды и для таких важных физических величин, как поправочный индекс ω и константа Колмогорова. До настоящего времени они были известны лишь в низшем, однопетлевом, приближении. Поскольку реальное значение ε_{ps} не является малым, старшие члены разложения ω и C представляют значительный интерес.

Основным результатом представляемой работы является вычисление в рамках модели стохастической гидродинамики несжимаемой жидкости методом ренормализационной группы двухпетлевых членов ε -разложения критического индекса ω и константы Колмогорова.

Список литературы

- [1] Л. Ц. Аджемян, Н. В. Антонов, А. Н. Васильев, *Успехи физ. наук* Т. 166. С. 1257–1284, (1996).
- [2] Л. Ц. Аджемян, А. Н. Васильев, Ю. С. Кабриц, М. В. Компаниец, *Вестн. С.-Петерб. ун-та* Сер. 4. 2000. Вып. 1(№ 4).
- [3] А. Н. Васильев, *Квантовополевая ренормгруппа в теории критического поведения и стохастической динамике*. СПб., 1998.
- [4] А. С. Монин, А. М. Яглом, *Статистическая гидромеханика*. СПб., 1996. Т. 2.

Сверхизлучение в полупроводниках

Л. Я. Карачинский

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Основные особенности сверхизлучения (СИ) были установлены Дике в 1954 г. на простейшей модели двухуровневых атомов [1]. В случае малого расстояния между излучающими центрами по сравнению с длиной волны излучения возможна спонтанная фазировка диполей и формирование из них объединенного «макродиполя», эффективность излучения которого пропорциональна квадрату числа входящих в него элементарных диполей. Это приводит к лавинообразному нарастанию интенсивности излучения и, соответственно, формированию короткого оптического всплеска. Такого рода эффекты давно и хорошо изучены теоретически и экспериментально для случая твердотельных лазеров.

Долгое время такое взаимодействие носителей в полупроводниках недооценивалась, несмотря на то, что плотность электронно-дырочных пар

там обычно гораздо выше, чем плотность примесных центров в твердотельных лазерах. Однако в последние годы резко возрос интерес к проблеме сверхизлучения в полупроводниках [2, 3].

В связи с большим числом диполей, участвующих в резонансе, длительность формируемого импульса для условий полупроводникового материала очень мала и лежит в субпикосекундном диапазоне, что крайне затрудняет детектирование импульсов СИ. Несмотря на это, в ходе экспериментов, проведенных с использованием оптического автокоррелятора, импульсы СИ были обнаружены в инжекционном лазере как выше, так и ниже порога лазерной генерации [4].

Особенности излучения полупроводниковых структур, связанные со СИ, должны проявляться не только в динамических характеристиках, но также и в спектральных. Было обнаружено, что спектр электролюминесценции лазерной гетероструктуры на квантовой яме при низких температурах (меньше 100 К), когда неоднородным уширением можно пренебречь, хорошо описывается форм-фактором однородного уширения, полученного на базе простейших выражений теории СИ двухуровневых систем [5]. При более высоких температурах спектры имеют значительную компоненту неоднородного уширения, тем не менее при больших плотностях тока накачки даже при комнатной температуре было установлено преобладание СИ в спектрах излучения исследуемой структуры [6].

Для моделирования спектров излучения гетероструктур на квантовых точках необходимо учесть неоднородное уширение, связанное с разбросом точек по составу, размеру и форме. Полученное из теории СИ выражение, использующее неоднородное уширение даже в простейшем виде — прямоугольник единичной высоты и ширины, равной характеристической энергии неоднородного уширения — описывает экспериментально полученные спектры с очень высокой степенью точности [7].

Полученные результаты подтверждают предложенную ранее модель излучения в полупроводниках, учитывающую коллективное взаимодействие носителей в процессе излучения.

Список литературы

- [1] R. H. Dicke, *Phys. Rev.* **93**, 99 (1954).
- [2] A. A. Belyanin et al., *Quantum Semiclass. Opt.* **10**, L13 (1998).
- [3] П. П. Васильев, *Квантовая электроника* **24**, 885 (1997).
- [4] S. V. Zaitsev, A. M. Georgievski, *Proc. Int. Conf. SPIE on Optical Diagnostics of Materials and Devices for Opto-, Micro-, and Quantum Electronics*, Kiev, 1995, p. 319.
- [5] А. М. Георгиевский и др., *ФТП* **33**(7), 847 (1999).

[6] С. В. Зайцев и др., *ФТП* 33(12), 1456 (1999).

[7] Н. Ю. Гордеев и др., *Письма в ЖТФ* 26(6), 78 (2000).

Технологические и организационно-правовые аспекты защиты передаваемой информации

В. В. Каулио

Санкт-Петербургский государственный технический университет

v.o.v@yahoo.com

Широкое применение компьютерных технологий в автоматизированных системах обработки информации и управления привело к обострению проблемы защиты информации, циркулирующей в компьютерных системах, от несанкционированного доступа. Радикальное решение проблем защиты электронной информации может быть получено только на базе использования криптографических методов, которые позволяют решать важнейшие проблемы защищенной передачи и автоматизированной обработки данных.

В работе реализованы следующие задачи:

- комплексный обзор проблем обеспечения безопасности передаваемой информации и обоснование их актуальности. Рассматриваемые вопросы связаны с применением информационно-вычислительной техники в народном хозяйстве;
- рассмотрение технологических аспектов проблемы защиты передаваемой информации (в том числе связанных с использованием криптографических преобразований), а также сопутствующих проблем сертификации;
- изучение существующей нормативно-методической базы, позволяющей решать данные проблемы, а также вопросы организационно-правового обеспечения и государственного управления в сфере защиты информации.

Подготовленный в результате выполнения работы аналитический обзор и справочные информационные материалы носят методический характер и могут быть использованы в качестве учебных материалов для спецкурсов нового образовательного раздела «Информационная безопасность».

Диэлектрические и оптические свойства карбосиланового дендримера, содержащего концевые мезогенные группы

Е. И. Рюмцев, С. А. Ковшик

НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета

Проведено исследование диэлектрических и оптических свойств карбосиланового дендримера четвертой генерации, содержащего 64 цианобифенильные концевые группы (Д4ЦБ). Мезогенные группы отделены от дендримерной матрицы алифатическими цепочками с четырьмя атомами углерода.

В диапазоне частот 1 кГц–100 МГц измерены диэлектрические проницаемости ϵ' и диэлектрические потери ϵ'' в жидкокристаллической и изотропно-жидкой фазах исследованного образца. Также измерены показатели преломления в оптическом диапазоне.

В исследованной области частот электрического поля обнаружена дисперсия диэлектрической проницаемости Д4ЦБ. С использованием частотных зависимостей ϵ' и ϵ'' были определены времена релаксации при различных температурах. Из зависимости времени релаксации от обратной температуры рассчитана энергия активации релаксационного процесса, ответственного за диэлектрическую релаксацию исследованного дендримера.

Транскрипционная система *in vitro* и ее применение в изучении трансляции: Роль гипермодифицированного основания У37 дрожжевой мРНК в кодон-антикодонном взаимодействии

А. Л. Коневега

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Точность трансляции и ряд других, связанных с этим процессов, таких, как сдвиг рамки считывания, миссенс-ошибки и т. д. зависят и определяют кодон-антикодонным взаимодействием тРНК с матрицей в рибосоме. На это взаимодействие влияют многие факторы и, в частности, модификация оснований в антикодоне и других местах антикодонной петли тРНК. Одной из характерных черт тРНК является то, что она содержит много модифицированных нуклеотидов, число которых может достигать 20% общего числа нуклеотидов в ней. Структурная сложность многих модифицированных нуклеотидов, их расположение в особых сайтах молекулы тРНК и повсеместность присутствия в тРНК разных организмов позволяют думать, что они играют важную роль в процессе функционирования тРНК в рибосоме.

Целью работы являлось осуществление начальных этапов изучения механизма взаимодействия молкулы тРНК с матрицей на рибосоме и роли модифицированного нуклеозида в положении 37 в этом взаимодействии в модельной системе, содержащей синтетическую матрицу поли (U), 70S рибосому и транскрипт тРНК.

В результате работы предложена модифицированная методика выделения РНК-полимеразы бактериофага T7. Введение дополнительного этапа гель-фильтрации на Ultrogel AcA-44, что позволило существенно снизить уровень РНКазной активности в препарате T7 РНК-полимеразы. Несмотря на неполную гомогенность получаемого препарата, в сравнительных экспериментах он зарекомендовал себя лучше чем T7 РНК-полимераза производства MBI Fermentas.

Оптимизация ключевых параметров транскрипционной системы (концентрации нуклеотидтрифосфатов, $MgCl_2$, ГМФ, соотношение матрица/фермент) позволило повысить конечный выход транскрипта дрожжевой тРНК^{Phe} более чем в 8 раз. В результате из 1мл транскрипционной смеси можно получить до 20 оптических единиц A_{260} (около 800 мкг) транскрипта тРНК. Замена общепринятой методики очистки транскриптов РНК (препаративного электрофореза в денатурирующем полиакриламидном геле) на ионообменную хроматографию на FPLC-колонке Mono Q существенно увеличило конечный выход транскрипта.

Полученный транскрипт может быть специфически аминокислотирован дрожжевой фенилаланиновой аминокислот-тРНК-синтетазой до 1200 пМ фенилаланина на 1 ед. A_{260} , что соответствует 81% от уровня аминокислотирования нативной дрожжевой тРНК^{Phe}. Активность полученного препарата транскрипта дрожжевой тРНК^{Phe} в связывании с рибосомами близка к 100%. Взаимодействие транскрипта дрожжевой тРНК^{Phe} с Р-сайтом 70S рибосом *E.coli* является матрично-зависимым. При данных экспериментальных условиях (10 °С, 20мМ $MgCl_2$) константа ассоциации транскрипта дрожжевой тРНК^{Phe} с Р-сайтом комплекса [70S+поли(U)] совпадает с константой ассоциации нативной дрожжевой тРНК^{Phe} с точностью до погрешности эксперимента, что хорошо согласуется с литературными данными.

Разработка и реализация модуля сопряжённого моделирования гидродинамических и теплофизических процессов в составе интегрированной САПР литейной технологии

Д. А. Луковников

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Целью всей работы является разработка методического, алгоритмического, программного и информационного обеспечения головного модуля автоматизированного моделирования для ИСАПР технологии изготовления отливок. В качестве конкретного объекта исследования взят метод литья под низким давлением, для которого характерными видами брака при его нерациональной реализации являются неметаллические включения и плены, возникающие при фонтанировании, а также неспаи и недоливы вследствие недостаточной скорости или остановки потока при растекании расплава по поверхности формы.

Для решения настоящей задачи с определением основных параметров процесса использовалась методика численного моделирования тепловых процессов, выдвигающая ряд сложных задач алгоритмического, программного и информационного обеспечения. Решение задачи позволяет производить диагностику процесса заполнения литейной формы и исследовать распределение температур. В связи с этим в проектировании технологии использовалась математическая модель теплообмена газожидкостной среды и формы. Разработанная математическая модель включает в себя:

- решение уравнения теплопроводности Фурье методом конечных разностей в условиях неявной локально одномерной схемы с конвективным слагаемым для расчёта путём прогонки температурного поля в объёме расплава при заполнении формы и охлаждении отливки;
- условие капиллярного смачивания, определяющее растекание потока у стенки формы под влиянием дополнительной силы на границе раздела трёх фаз;

При численной реализации математической модели теплообмена разработан вариант задания произвольной конфигурации формы, а также выполнен анализ и визуализация циркуляции расплава и распределения температур при заполнении полости литейной формы. Используя современные методы в виде программных средств, описанная математическая модель теплообмена была объединена с моделью гидродинамики в один интегрированный комплекс. Данный продукт адекватно отражает процессы, протекающие в литейной форме, представляя собой эффективный аппарат качественного и количественного анализа результатов исследования

сопряженных гидродинамических и теплофизических процессов, который отличают способность оперативного совместного изучения влияния факторов, отдельного рассмотрения большого количества вариантов, а также точность, требуемая для глубокого понимания изучаемых процессов.

Данный прикладной пакет позволяет осуществить численный поиск рациональных параметров (действующий напор, смачивание материала формы, скорость заливки, локальная температура заливаемого расплава и т.д.), а также получить их объективную сравнительную характеристику. С помощью этого пакета программ возможно описание образования целого ряда дефектов отливок, в основе возникновения которых лежат сопряженные гидродинамические и тепловые процессы при заливке полости форм. В связи с этим успешное решение данной задачи предполагает установление условий образования указанных дефектов и нахождение режимов заливки, предупреждающих их появление.

Вопросы организации интерактивного взаимодействия в системах Internet-провайдеров

Д. Новиков

Санкт-Петербургский государственный технический университет
dmn@nnz.ru

В ходе работы над дипломным проектом были проведены исследования, результатом которых явилась разработка системы интерактивного взаимодействия, на основе которой построена система предоставления доступа к ресурсам сети Internet (промышленная система интернет-провайдинга).

В ходе исследований найдены решения, применение которых распространяется как на общие принципы построения подобных систем, так и на решение проблем безопасности корпоративных сетей, на разработку биллинговых систем широкого применения, на выбор способов оптимального и безопасного хранения корпоративных данных, на построение систем электронной коммерции.

Наиболее тщательно были проработаны разделы, посвященные построению защищенных корпоративных сетей, подключенных к Internet, построению биллинговых систем, исследованию механизмов организации доступа к корпоративным базам данных. В докладе будут изложены взгляды автора на решение следующих проблем:

- механизмы построения корпоративных сетей, имеющих постоянное соединение с сетью Internet;

- проблемы безопасности сетей и способы защиты от несанкционированного доступа к корпоративным данным;
- пример построения сети интернет провайдера, максимально удовлетворяющая требованиям, перечисленным в задании на разработку;
- пример системы доступа к ресурсам Internet по коммутируемым линиям на основе предложенной схемы сети;
- механизмы доступа к серверам баз данных из UNIX-систем.

В результате сформированная система интерактивного взаимодействия может эффективно применяться в решении самых различных задач, например:

- биллинговая система Internet-провайдера;
- Internet-аукцион;
- система дистанционного образования;
- Internet-магазины, Internet-витрины.

Сине-зеленые лазеры на основе соединений (Zn,Mg,Cd)(S,Se)

И. Новиков

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Одним из наиболее перспективных направлений в современной физике полупроводников является получение и исследование свойств низкоразмерных структур. Несмотря на значительный прогресс в увеличении времени жизни синих и фиолетовых лазеров на основе квантовых ям (In,Ga)N [1], интерес к лазерам на основе соединений $A_{II}B_{VI}$ [2] сохраняется, в частности, по отношению к зеленой области спектра. Так как до сих пор эта спектральная область остается недостижимой для других систем полупроводниковых материалов, важной задачей является поиск новых решений, позволяющих принципиально улучшить излучательные характеристики гетероструктур на основе ZnSe.

К числу основных проблем, ограничивающих приборное использование таких структур, можно отнести проблемы, связанные с самой физикой процессов и являющиеся принципиально присущими подобному классу соединений, решение представляется сложной задачей. Сюда, в частности, следует отнести относительно низкую энергию образования и развития протяженных дефектов по сравнению с оеденениями на основе $A_{III}B_{V}$, а также трудности самого технологического процесса (подбор более подходящих составов используемых материалов, режимов и температур выращивания, для оптимизации лазерных структур в целом).

Несмотря на это к настоящему времени уже в нескольких научных центрах продемонстрирован режим генерации при комнатной температуре в подобных системах [2–5]. В частности, фирмой Sony недавно была продемонстрирована непрерывная работа лазерного диода в течение 100 часов с выходной мощностью 1 мВт, полученная в основном за счет оптимизации структуры по слоям и технологического процесса роста в целом [2]. Хотелось бы также заметить, что в настоящее время в лаборатории квантоворазмерных гетероструктур ФТИ им А. Ф. Иоффе ведутся интенсивные работы по созданию и исследованию гетероструктур на основе соединения ZnSe. Получены многообещающие результаты, позволяющие с уверенностью говорить о сложившейся тенденции к получению удовлетворительных приборных характеристик лазерных диодов. Пример тому — значение выходной световой мощности в 200 мВт в квази-непрерывном режиме [7] и пороговой плотности тока в 750 А/см^2 [8], полученные при КТ.

Однако, именно малое время жизни подобных лазеров сильно сдерживает их широкое промышленное производство [6].

Список литературы

- [1] S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, Y. Sugimoto, H. Kiyoku, *Appl. Phys. Lett.* **70**, 1417 (1997).
- [2] S. Taniguchi, T. Hino, S. Itoh, K. Nakano, N. Nakayama, A. Ishibashi, M. Ikeda, *Electron. Lett.* **32**, 552 (1996).
- [3] N. Nakayama, S. Itoh, T. Ohata, K. Nakano, H. Okuyama, M. Ozawa, A. Ishibashi, M. Ikeda and Y. Mori, *Electron. Lett.* **29** 1488 (1993).
- [4] S. Itoh, H. Okuyama, S. Matsumoto, N. Nakayama, T. Ohata, T. Miyajima, A. Ishibashi and K. Akimoto, *Electron. Lett.* **29** 766 (1993).
- [5] A. Salokatve, H. Jeon, M. Hovinen, P. Kelkar, A. V. Nurmikko, D. C. Grillo, Li He, J. Han, Y. Fan, M. Ringle and R. L. Gunshor, *Electron. Lett.* **29** 2041 (1993).
- [6] M. Kato, et. al., *Electron. Lett.* **34** 282 (1998).
- [7] V. I. Kopchatov, N. Yu. Gordeev, S. V. Ivanov, P. S. Kop'ev, H.-J. Lugauer, G. Reuscher, A. Waag, G. Landwehr, *Proc. Int. Symp. Nanostructures: Physics and Technology*, St. Petersburg, Russia, June, p. 146, 1999.
- [8] С. В. Иванов, А. А. Торопов, С. В. Сорокин, Т. В. Шубина, Н. Д. Ильинская, А. В. Лебедев, И. В. Седова, П. С. Копьев, Ж. И. Алферов, Х. Д. Лугауэр, Г. Рёшер, М. Кайм, Ф. Фишер, А. Ваг, Г. Ландвер, *ФТП*, **32** 892 (1998).

Выстраивание нового аксиального центра железа в KTaO_3 поляризованным светом

С. А. Басун, В. Э. Бурсиан, А. Г. Раздобарин, Л. С. Сочава

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

aleksey.razdobarin@pop.ioffe.rssi.ru

Известно, что в кристаллах со структурой перовскита, таких как KTaO_3 , SrTiO_3 , фотохромные свойства дефектных центров являются следствием фотоиндуцированного переноса заряда между этими центрами и кристаллической решеткой. В данной работе рассматривается явление оптического выстраивания аксиальных примесных центров в кубическом кристалле KTaO_3 . В случае низкой симметрии примесных комплексов их ионизация поляризованным светом происходит анизотропно. В результате перезарядки исходных центров, вместо одного ансамбля дефектных центров в определенном зарядовом состоянии возникает два ансамбля в различных зарядовых состояниях, каждый из которых преимущественно ориентирован в направлении, зависящем от вектора поляризации света.

Представленная работа посвящена исследованию методом ЭПР нового тетрагонального центра железа со спином $S = 2$ в кубическом кристалле виртуального сегнетоэлектрика $\text{KTaO}_3:\text{Fe}$. Центр фоточувствителен, и анализ его наличия или отсутствия до и после освещения в образцах с разным положением уровня Ферми позволил сделать заключение о его микроскопической структуре $\text{Fe}_{\text{Ta}}^{4+} - V_0$ (железо в узле тантала и кислородная вакансия в ближайшем анионном узле).

Обнаружено выстраивание новых центров железа. Исследование процессов анизотропного создания и уничтожения этих центров поляризованным светом с различными длинами волн, а также их сравнительный анализ с аналогичными процессами для другого, ранее изученного центра $\text{Fe}_{\text{K}}^{3+} - \text{O}_i$ [2] позволило предложить единую схему перезарядок этих двух центров с участием валентной зоны и зоны проводимости. Электрон, освобождающийся в результате фотоионизации $\text{Fe}_{\text{K}}^{2+} - \text{O}_i \rightarrow \text{Fe}_{\text{K}}^{3+} - \text{O}_i + e$, захватывается на новый центр $\text{Fe}_{\text{Ta}}^{5+} - V_0 + e \rightarrow \text{Fe}_{\text{Ta}}^{4+} - V_0$ [3]. Численный расчет предложенной модели находится в хорошем согласии с экспериментом.

Список литературы

- [1] Д. В. Азамат, С. А. Басун, В. Э. Бурсиан, А. Г. Раздобарин, Л. С. Сочава, Н. Hesse, S. Kaphan. *ФТТ*, 41, 1303 (1999).

- [2] S. A. Basun, L. S. Sochava, V. E. Bursian, H. Hesse, S. Kapphan, V. S. Vikhnin. *Materials Science Forum, Trans Tech Publications, Switzerland, 1997, v. 239–241, p. 345.*
- [3] S. A. Basun, V. E. Bursian, H. Hesse, S. Kapphan, A. G. Razdobarin, L. S. Sochava, *Abstracts of DPC-99, Humacao, Puerto-Rico, USA, May 23–27, 1999, p. 62*

Исследование асимптотики $d \rightarrow \infty$ в модели Крейчнана турбулентного перемешивания пассивной примеси

А. В. Рунов

Санкт-Петербургский государственный университет

Одним из главных объектов изучения теории сильно развитой турбулентности являются структурные функции флуктуаций скорости

$$S_n(r) = \langle (v_r(0) - v_r(\mathbf{r}))^n \rangle.$$

С точки зрения классической теории Колмогорова, $S_n(r) \sim r^{n/3}$, однако и эксперимент, и современные теоретические исследования предсказывают дополнительную зависимость $S_n(r) \sim r^{n/3}(r/L)^{q_n}$ от интегрального масштаба турбулентности L (аномальный скейлинг) с отрицательными индексами q_n .

В рамках теоретико-полевого подхода, зависимость корреляционных функций от r/L определяется критическими размерностями составных операторов (произведений полей и/или их производных в одной точке), а аномальный скейлинг имеет место в случае существования в модели составных операторов с отрицательными критическими размерностями (опасных операторов). Ранее, в рамках ϵ -разложения, было доказано существование таких операторов как для стохастического уравнения Навье–Стокса, так и для более простой модели Крейчнана. Мы получили двойное $1/d$, ϵ разложение критических размерностей составных операторов в модели Крейчнана, где d — размерность пространства. В главном порядке по $1/d$ сумма по ϵ может быть вычислена точно, что позволяет доказать обращение в ноль критических размерностей всех опасных операторов при произвольных ϵ в пределе $d \rightarrow \infty$.

Прыжковая релаксация локализованных экситонов

С. А. Тарасенко

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Теоретически исследовано формирование спектров фотолюминесценции, обусловленной излучательной рекомбинацией локализованных экситонов в структурах с квантовыми ямами. Построенная ранее кинетическая теория энергетической релаксации локализованных экситонов при нулевой температуре обобщена на случай низких, но конечных температур. Для сравнения одновременно проводилось компьютерное моделирование с использованием той же модели туннельных прыжков экситонов с одного локализованного состояния на другое. Результаты кинетической теории и компьютерного моделирования сравниваются между собой и с экспериментальными данными по макро- и микро-спектрам фотолюминесценции в сверхрешетках CdS/ZnSe типа II.

Теория объясняет наблюдаемое на опыте немонотонное поведение спектрального максимума фотолюминесценции с ростом температуры: вначале максимум сдвигается в длинноволновую область спектра, а при дальнейшем увеличении температуры направление смещения максимума меняется на обратное. Физически такое поведение можно объяснить, учитывая, что при $T = 0$ вклад в фотолюминесценцию в основном вносят экситоны, захваченные на случайно изолированных локализованных состояниях, действующих как поры. При конечной температуре происходит эффективное стряхивание экситонов, захваченных частью таких пор: за счет поглощения акустического фонона экситон совершает прыжок на ближайшего соседа с большей энергией, а затем на другое нижележащее состояние.

Регулируемая спин-волновая бездисперсионная линия задержки

А. Б. Устинов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
Alexey.Ustinov@pobox.spbu.ru

Бездисперсионные линии задержки находят различные применения в микроэлектронике. Для радиосистем представляют интерес широкополосные бездисперсионные линии задержки, время задержки в которых могло бы плавно изменяться в некоторых пределах путем подачи управляющего сигнала. Применение таких линий задержки наиболее перспективно в фази-

рованных антенных решетках, что позволяет получить антенну с немеханическим качанием луча.

Целью данной работы является теоретическое и экспериментальное исследование бездисперсионной линии задержки с плавно регулируемой величиной задержки, а также изготовление опытного образца устройства.

Задачу получения бездисперсионной задержки можно решить путем использования конструкции, в которой каскадно включены две дисперсионные линии задержки с противоположными наклонами характеристик задержки [1, 2]. При оптимальном выборе их конструктивных параметров возможна компенсация дисперсий спиновых волн и получение бездисперсионного участка на результирующей зависимости времени задержки от частоты.

Исследуемая в данной работе бездисперсионная линия задержки состоит из двух каскадно включенных линий задержки на обратной объемной и поверхностной магнитостатических волнах. В устройствах, представленных в работах [1, 2], регулировка времени задержки осуществлялась путем сдвига характеристики задержки одной из линий вдоль оси частот за счет изменения поля подмагничивания. Бездисперсионная линия задержки, описанная в работе [1], имеет диапазон регулировки задержки в пределах 165–180 нс, что соответствует ее изменению приблизительно на $\pm 5\%$ от среднего значения 172.5 нс. Устройство, разработанное нами, имеет модификацию, которая позволила существенно увеличить диапазон изменения задержки. А именно, поле подмагничивания обеих линий менялось по определенному закону так, чтобы их характеристики задержки смещались в противоположные стороны.

Результатом теоретических исследований явилось построение математической модели составной бездисперсионной линии задержки, которая позволяет рассчитать характеристики задержки от частоты для различных конструктивных параметров устройства. Также были получены формулы для вычисления значений этих параметров, при которых достигается равенство наклонов характеристик задержки для линий на обратных объемных и поверхностных магнитостатических волнах. Численное моделирование указало на возможности получения полосы бездисперсионности около 200 МГц на центральной частоте от 3 до 5 ГГц, изменения времени задержки не менее чем в 2 раза, при сохранении относительной неравномерности времени задержки в рабочей полосе не хуже $\pm 5\%$.

Экспериментальные результаты в основном подтвердили результаты моделирования. Обнаруженные расхождения можно отнести к влиянию магнитной анизотропии использовавшихся при измерениях пленок, кото-

рая при расчетах не учитывалась.

После проведенных исследований был изготовлен опытный образец составной бездисперсионной линии задержки. Эпитаксиальные пленки железозинттриевого граната, использовавшиеся в линиях на обратной объемной и поверхностной волнах, имели толщины 49.5 и 46 мкм, соответственно. Спиновые волны возбуждались микрополосковыми преобразователями длиной 2 мм и шириной 50 мкм. Расстояние между преобразователями в линии на обратных объемных волнах составляло 3.5 мм, а в линии на поверхностных волнах — 3.8 мм. Магнитное поле создавалось постоянными магнитами. Последовательно соединенные катушки индуктивности, каждая из которых была расположена в пространстве между магнитом и пленкой, изменяли это поле при пропускании через них постоянного тока. Такая геометрия позволила получить равенство наклонов характеристик задержки.

Исследование характеристик опытного образца дало следующие результаты. Частотная полоса бездисперсионности составила около 300 МГц на центральной частоте 3.15 ГГц, регулировка времени задержки осуществлялась в диапазоне от 40 до 70 нс, что соответствует ее изменению на $\pm 30\%$ от среднего значения 55 нс. Относительная неравномерность задержки составляла не более $\pm 5\%$.

Данная работа профинансирована Российским фондом фундаментальных исследований (грант 99-02-16370) и Министерством общего и профессионального образования Российской Федерации (грант 97-8.3-13).

Список литературы

- [1] J. C. Sethares, J. M. Owens and C. V. Smith, *Electron. Lett.* **16**, 825 (1980).
- [2] J. D. Adam, M. R. Daniel and T. W. O'Keefe, *Microwave Journal*, **25** (2), 95–99 (1982).

Применение принципа минимизации погонного производства энтропии в алгоритмах выбора оптимальных режимов плазменной сварки, нанесения покрытий и упрочнения

Б. О. Христовиц

Санкт-Петербургский государственный технический университет
boris@incoftim.hop.stu.neva.ru

Плазменные технологии сварки, нанесения покрытий и упрочнения можно рассматривать как процессы, происходящие в открытой системе (подчиняющейся законам неравновесной термодинамики) которая должна быть

устойчивой [1]. Использование данного принципа дает возможность обеспечить не только устойчивость технологического процесса, упростить и повысить точность определения требований к параметрам оборудования для гибких производственных систем, но также позволяет определить новые эффективные направления разработки систем автоматического поиска оптимальных режимов плазменных сварочных технологий. Поиск системой оптимальных режимов можно организовать путем варьирования потоков (через ток сжатой дуги, расход газа и др.) для минимизации погонного производства энтропии, и обеспечить при этом условия саморегулирования. При построении замкнутого алгоритма расчета оптимальных режимов привлеклись во внимание результаты проведенных экспериментальных исследований, а именно: благодаря саморегулированию, повышение погонного производства энтропии на 15...20% относительно минимума, как правило, сохраняет достаточную устойчивость процесса плазменной сварки. Это дает возможность оптимизировать режимы по дополнительным критериям: а) повышения скорости сварки, б) уменьшения объема ванны, и другим. Следует обратить внимание, что в отличие от традиционных сварочных расчетов, здесь важнейшую роль играет диаметр сопла, связанный непосредственно с шириной шва и сразу определяющий ток сжатой дуги. Расчеты и опыты показали, что, с учетом дополнительных критериев, практически для всех свариваемых материалов целесообразно выбрать на данной толщине листов одинаковую геометрию швов, находящуюся в границах титановых и алюминиевых сплавов. Для анализа тепловой и гидродинамической обстановки непосредственно в сварочной ванне может быть использовано полученное критериальное уравнение, связывающее величину подрезов сварного шва и число Эйлера с параметрами режима и свойствами материала. Область действия критериальной модели определяет границы оптимальных режимов с двумя пределами: «высокое качество» — «высокая производительность». На основе формируемых баз знаний, разработаны технологические рекомендации и алгоритмы для оптимального выбора и практического использования новых гибких плазменных технологий сварки, нанесения покрытий и упрочнения поверхностей. Технологии основаны на едином физическом принципе плазменного воздействия и отличаются: универсальностью, дешевым оборудованием, экологической чистотой.

Расширение области применения принципа минимизации погонного производства энтропии для развития технологий плазменного упрочнения поверхности позволило создать новый процесс — финишного плазменного упрочнения (ФПУ) с одновременным нанесением тонкопленочного аморф-

ного покрытия при атмосферном давлении и алгоритмы расчета режимов.

Для эффективной эксплуатации создаваемого оборудования нового поколения — гибких плазменных модулей разрабатывается его интеллектуальная часть, базирующаяся на специализированных компьютерных программах. Применение таких систем в промышленности в комплексе с технологическим оборудованием даст возможность получить в различных отраслях хозяйства Санкт-Петербурга и России значительный экономический эффект и выйти на мировой уровень интеллектуальной и технологической продукции, причем, без больших капитальных вложений.

Список литературы

- [1] Н. А. Соснин, В сб. Российская научно-техническая конференция *Инновационные наукоёмкие технологии для России*. Ч. 6. СПб: СПбГТУ. 1995. С. 48.

Организация репликативных доменов ДНК в S-фазных ядрах клеток человека

В. О. Чагин

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Ключевым событием S-фазы клеточного цикла является репликация ДНК и удвоение числа хромосом. В каждой хромосоме клеток эукариот имеется много точек инициации синтеза ДНК, и, согласно репликонной модели репликации ДНК, синтез идет от одной точки инициации в двух различных направлениях, образуя одну единицу репликации — репликон. Известно, что в различные периоды S-фазы активны разные группы репликонов: в ранней S-фазе преимущественно активируются репликоны, ассоциированные с R-дисками метафазных хромосом, затем синтез происходит в хроматине G-дисков и центромер, и в поздней S-фазе удваивается ДНК гетерохроматина, что свидетельствует о неслучайной последовательной активации синтеза ДНК в различных участках хромосомы.

Вопрос о размере основной массы репликонов до настоящего времени окончательно не решен. Ранее, был сделан вывод о том, что основными единицами репликации ДНК в клетках высших эукариот являются группы из 20–25 синхронно активируемых соседних малых репликонов (ГМР) со средним размером около 100 т.п.н.; длительность полной репликации одной ГМР при средней скорости движения репликативной вилки 2 т.п.н./мин должна составлять 25 мин. Предполагалось также, что разные ГМР действительно являются независимыми единицами репликации, хотя параллельная активация ГМР разных их подсемейств может происходить

в различных участках хромосом в течение одного и того же интервала S-фазы.

В настоящей работе длительность синтеза ДНК отдельных репликативных доменов (РД) S-фазных клеток человека определяли с помощью двух репликативных меток, которые можно выявить в одном ядре с помощью специфических антител. В наших опытах сразу после первого одночасового мечения клеток $5'$ -CldU их помещали на 1 ч в среду с $5'$ -IdU и затем фиксировали. Если основной единицей репликации является ГМР со средним временем синтеза 30 мин, то лишь небольшая часть CldU-доменов должна быть пространственно связана с IdU-доменами и перекрываться с ними. На препаратах клеток находившихся в средней S-фазе, окрашенных после последовательного включения CldU и IdU было видно, что при включении в ДНК *in vivo* сначала CldU в течение 60 мин, а затем IdU в течение 60 мин. основная часть доменов, включивших CldU, полностью перекрывается или соприкасается с доменами, включившими IdU. При двумерной сегментации суммированного двумерного изображения и последующем сравнении с картиной распределения каждой из меток было определено, что около 60% всех РД содержат обе метки.

Полученные результаты указывают, что синтез ДНК большей части РД продолжается более 90 мин, что противоречит общепринятой модели организации единиц репликации ДНК в клетках млекопитающих, и лучше всего согласуется с другой моделью, согласно которой основными единицами репликации являются отдельные или сгруппированные большие репликоны размером более 300 т.п.н.

Клонирование фрагмента экзона 4А гена рецептора липопротеинов низкой плотности человека

И. М. Шапиро

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Семейная гиперхолестеринемия (СГ) — моногенное заболевание человека, клинически выражающееся в развитии атеросклероза венечных артерий и коронарной недостаточности в раннем возрасте. Заболевание вызвано мутациями в гене рецептора липопротеинов низкой плотности (ЛНП). Возможность применения эффективных препаратов, а именно статинов (Мевакора и аналогичных), для предотвращения развития заболевания, диктует необходимость ранней его диагностики, а именно ДНК-диагностики. В отделе молекулярной генетики ИЭМ РАМН у одного из пациентов была

найдена трехнуклеотидная делеция в 4 экзоне гена РЛНП в гетерозиготном состоянии. Нашей задачей было клонировать нормальный и мутантный аллели гена, с целью последующего их секвенирования для определения точного положения делеции.

Фрагмент чужеродной ДНК был встроен в плазмиду pUC9. Штаммы *E.coli* DH5 α трансформировали полученной смесью рекомбинантов. После посева исходно белых колоний «рекомбинантов», лишь 4 колонии остались чисто белыми, остальные стали светло-голубые, т.е. имели фенотип «leaky» мутантов. При идентификации рекомбинантов, выяснилось, что колонии, окрашенные в светло-голубой цвет, выращенные на чашках с ампициллином и X-gal, содержали рекомбинантную плазмиду со вставкой, а колонии окрашенные в белый цвет без вставки. В одной из проб (21) на электрофореze были хорошо видны две зоны амплификата, что говорило об образовании гетеродуплекса. Это означало, что либо в данной пробе находилась плазида с двойной вставкой, либо в пробе находилось две рекомбинантные плазмиды, одна из которых содержит вставку с мутацией, другая — норму. Для выяснения этого вопроса нами был использован метод гетеродуплексного анализа, в результате чего было получено 7 проб с гетеродуплексами, то есть в данных клонах содержались плазмиды с мутантным фрагментом экзона 4, и 3 пробы без гетеродуплекса, что свидетельствовало о наличии в этих клонах плазмид с нормальным фрагментом ДНК. Плазмидную ДНК (21) амплифицировали методом ПЦР с секвенирующими плазмидными праймерами M13reverse, M13forward. Из полученных данных следовало, что клетки штамма № 21 содержат две плазмиды: одну рекомбинантную с нормальной вставкой, вторую с мутантной вставкой. Обе плазмиды сохранялись в штамме на протяжении 4-х этапов клонирования, в течение 2-х месяцев. Таким образом, мы получили плазмиды, содержащие мутантный и нормальный аллели гена РЛНП пригодные для секвенирования. Кроме того, мы обнаружили феномен сосуществования в клетках *E.coli* двух родственных, но различных плазмид.

Полученные в результате проведенной работы плазмиды, содержащие мутантную и нормальную вставку фрагмента экзона 4 гена рецептора ЛНП, были использованы для секвенирования трехнуклеотидной делеции, оказавшейся новой неопиcанной в литературе мутацией 347delGCC.

Поисковые проекты

Псевдоизотропный g -фактор тяжелых дырок в плоскости квантовой ямы

А. В. Кудинов, Ю. Г. Кусраев, И. Г. Аксянов, Б. П. Захарченя
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН
koudinov@orient.ioffe.rssi.ru

В кристаллах фактор спектроскопического расщепления, или g -фактор¹, становится тензорной величиной, поскольку расщепление электронных состояний в магнитном поле зависит, вообще говоря, от направления поля. Эффективный g -фактор характеризует свойства материала, и в этом смысле является материальным тензором. С другой стороны, различные электронные состояния одного кристалла обладают различным g -фактором, и в этом смысле g -фактор характеризует само состояние.

Известно, что в широко исследуемых квантовых ямах (КЯ) на основе материалов со сложной валентной зоной (таких как GaAs/AlAs или CdTe/CdMnTe) g -фактор тяжелых дырок резко анизотропен. Нормальная к плоскости КЯ «продольная» его компонента g_{zz} намного превосходит по величине две «поперечные» компоненты. В силу этого сведения о характерной величине, тем более о структуре поперечного g -фактора — блока 2×2 — являются довольно скудными (см. например [1]).

Нами предложен метод, позволивший экспериментально выявлять структуру поперечного g -фактора тяжелых дырок в КЯ системы CdTe–(Cd,Mn)Te–(Cd,Mg,Mn)Te. При этом мы воспользовались характерным для полумагнитных полупроводников эффектом «усиления магнитного поля», что позволило добиться результата в приемлемом диапазоне полей. Метод основан на измерении индуцированной поперечным магнитным полем линейной поляризации экситонной люминесценции [2]. Наиболее любопытной (в общезначимом плане) из ситуаций, наблюдавшихся в наших экспериментах, была следующая. В ряде образцов несмотря на то, что линейная поляризация люминесценции полностью и обратимо индуцировалась магнитным полем, ни ее величина, ни направление не зависели от направления поля, пока поле оставалось в плоскости КЯ.

В наших работах показано, что этот кажущийся парадоксальным результат соответствует предельно сильной анизотропии поперечного g -фак-

¹Правильнее говорить об эффективном g -факторе.

тора тяжелых дырок: $g_{xx} = -g_{yy}$. Такой вид должен иметь g -фактор, наведенный одноосной деформацией в плоскости КЯ или иным подобным искажением симметрии КЯ. Предельно анизотропный g -фактор можно также назвать псевдоизотропным, поскольку при такой его структуре величина спинового расщепления не зависит от направления поля, как и в случае истинно изотропного g -фактора. Отличие заключается в том, что при изотропном g -факторе преимущественное (соответствующее меньшей энергии) направление спина параллельно или антипараллельно, в зависимости от знака g -фактора, направлению магнитного поля, а при псевдоизотропном g -факторе оно, вообще говоря, ориентировано к полю под некоторым углом, величина которого зависит от направления кристаллических осей — как и при любом анизотропном g -факторе.

Список литературы

- [1] X. Marie et al., *Phys. Rev. B* **60**, 5811 (1999).
- [2] Yu. G. Kusrayev et al., *Phys. Rev. Lett.* **82**, 3176 (1999).

Исследование ориентированных по спину фотофрагментов с использованием техники суб-доплеровской Фарадеевской регистрации

Б. В. Пичеев, К. О. Коровин, О. С. Васютинский
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН
Pich.pms@pop.ioffe.rssi.ru

Исследование ориентированных и выстроенных атомных фотофрагментов предоставляет информацию о процессах, происходящих при оптическом возбуждении и последующей диссоциации молекул. На ориентацию и выстраивание фрагментов оказывают влияние симметрия возбужденных молекулярных состояний, Кулоновское взаимодействие на больших межъядерных расстояниях, когерентное возбуждение двух и более молекулярных состояний, а также неадиабатические взаимодействия в распадающейся молекуле [1].

В представляемой работе исследовалась динамика фотодиссоциации молекулы RbI под действием излучения с длиной волны 266 нм при помощи регистрации ориентированных по спину атомов рубидия, находящихся в основном состоянии [2]. Для регистрации указанных атомов применялась методика, основанная на парамагнитном эффекте Фарадея (наблюдалось изменение двулучепреломления атомного пара) и использовавшая тот факт, что гиротропная компонента атомной/молекулярной поляризуемости

приводит повороту плоскости поляризации пробного нерезонансного (по отношению к исследуемым атомам) излучения на некоторый угол после прохождения излучения через пар.

В экспериментах ориентированные по спине атомы Rb в основном состоянии образовывались при фотодиссоциации молекулы RbI под действием импульсного циркулярно поляризованного лазерного излучения с длиной волны 266 нм. Через атомный пар фрагментов пропусклось пробное линейно поляризованное инфракрасное излучение диодного лазера, длина волны которого перестраивалась вблизи D1 линии поглощения исследуемых атомов. Угол поворота пробного излучения после прохождения его через пар измерялся при помощи дихроичного поляризатора, установленного перед ФЭУ. Для разделения вкладов в сигнал от поглощения и ориентации к зоне регистрации было приложено слабое магнитное поле, приводящее к прецессии атомных спинов и появлению вследствие этого осцилляций с Ларморовской частотой в части сигнала, обусловленной ориентацией.

Исследования показали, что в образовании ориентированных атомов рубидия в указанной реакции участвуют два механизма диссоциации, дающие вклады в экспериментальные сигналы. Происходит как когерентное, так и некогерентное возбуждение разлетных молекулярных термов, приводящее к различному пространственному распределению спинов фотофрагментов и поэтому по-разному проявляющееся в наблюдаемых сигналах. Для соотношения соответствующих параметров анизотропии получено значение -0.33 . Полученный результат показывает, что когерентный и некогерентный механизмы диссоциации приводят к противоположной ориентации спинов рождающихся фотофрагментов.

Список литературы

- [1] D. V. Kupriyanov and O. S. Vasyutinskii, *Chem. Phys.* **171**, 25 (1993).
- [2] K. O. Korovin, B. V. Picheyev, H. Valipour, D. Zimmermann and O. S. Vasyutinskii, *J. Chem. Phys.* **112**, No 5 (2000).

Об аномальной величине лэмбовского сдвига обусловленного поверхностными плазменными модами фуллерена

В. В. Роткин

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН
rotkin@uiuc.edu

Наличие коллективных поверхностных мод в электронной системе кластера фуллерена C_{60} то есть связанных электромагнитных колебаний, распро-

страняющихся вдоль поверхности сферического кластера, ведет к усилению взаимодействия электрона с полем соответствующих нулевых колебаний. В результате энергия электрона испытывает синий (деполяризонный) сдвиг по сравнению с «затравочным» значением, получаемым в одноэлектронном приближении. Хотя на важность многоэлектронных эффектов в системах низкой размерности — где эффекты пространственного квантования приводят к наличию резких особенностей в спектре — было указано и ранее, в данной работе впервые произведен анализ деполяризонного сдвига (ДС) для нуль-мерной системы. Показано, что величина ДС не зависит от размера кластера, составляя в максимуме около 40 процентов. Таким образом, величина ДС, обусловленного нулевыми колебаниями связанных поверхностных мод, оказывается много большей, чем для свободных мод электромагнитного вакуума. Впервые исследовано влияние ДС на ширину запрещенной зоны, вычисленной в пренебрежении электронным взаимодействием. Известно, что перенормировка энергии за счет вершинной части ведет к эффективному сужению запрещенной зоны. Нами показано, что ДС противодействует этому, увеличивая ширину одноэлектронной запрещенной зоны в 1.36 раза. В качестве расчетного метода нами был выписан адиабатический гамильтониан полуклассического электрона, испытывающего смещения в «быстром» поле нулевых колебаний плазменных мод. Подтверждена применимость теории возмущений по параметру отношения амплитуды смещения (не зависящей от размера кластера) к радиусу системы. ДС в наименьшем из рассматриваемых кластеров S_{60} может быть рассчитан по теории возмущений.

Эффект фокусировки излучения в РОС-лазере с искривленными штрихами решетки

Г. С. Соколовский

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН
gregory@kuch.ioffe.rssi.ru

В настоящее время в мире проявляется большой интерес к созданию высокомошных одночастотных одномодовых источников лазерного излучения, область применения которых варьируется от медицины (например, ядерная магнито-резонансная томография) до связи (накачка эрбиевых волоконных усилителей сигнала в волоконно-оптических линиях связи). Однако предложенные к настоящему времени конструкции одномодовых лазеров с узким полоском не обеспечивают высокой мощности выходного излучения из-за

катастрофической деградации зеркал, в то время как в лазерах с широким (более 5 мкм) полоском излучение, как правило, является многомодовым и плохо поддается фокусировке.

В настоящей работе рассмотрена возможность фокусировки излучения в новой конструкции РОС-лазера, в котором штрихи дифракционной решетки представляют собой дуги концентрических окружностей, обеспечивая фокусировку всех мод лазерного излучения в общий фокус в плоскости р-п-перехода. Это является принципиальным отличием предлагаемого лазера от РОС-лазера «обычной» конструкции, где «геометрический источник» излучения любой моды высшего порядка существенно сдвинут по длине резонатора относительно «источника» излучения нулевой моды, что препятствует фокусировке неодномодового излучения. Фокусировка излучения в лазере предложенной конструкции в направлении, перпендикулярном плоскости р-п перехода, легко осуществляется при помощи цилиндрической микролинзы, укрепляемой непосредственно на теплоотводе лазерного диода.

В работе также приведена теоретическая оценка размера перетяжки при фокусировке света криволинейной решеткой в параксиальном и «квазипараксиальном» приближениях. Расчеты показывают, что с увеличением кривизны решетки и размера выходного зеркала размер перетяжки уменьшается до значений порядка 5–10 длин волн генерируемого излучения.

Благодаря частотной селективности резонатора с распределенной обратной связью, обеспечивающей одночастотную генерацию, и возможности пространственной фокусировки выходного излучения предлагаемая конструкция является на сегодняшний день наиболее эффективным и простым решением чрезвычайно актуальной проблемы фокусировки излучения мощных полупроводниковых лазеров с широким полоском.

Список литературы

- [1] G. S. Sokolovskii, E. U. Rafailov, D. J. L. Birkin, W. Sibbett, *Optical and Quant. El.* **31**, 215–221 (1999).

Содержание

Предисловие	3
Кандидатские проекты	5
Фазовые переходы в трехмерном кубическом кристалле. Критические индексы для произвольной размерности параметра порядка <i>К. Б. Варнашев</i>	5
Неравновесные стохастические системы: самоорганизованное критическое состояние в гранулированных сверхпроводниках и индуцированное мультипликативным шумом усиление в системах с on-off перемежаемостью <i>О. В. Геращенко</i>	6
Низкотемпературные полярные состояния, индуцированные примесями в квантовом параэлектрике SrTiO_3 <i>М. Е. Гужва, П. А. Марковин, В. В. Леманов</i>	7
Гистерезис прыжкового магнитосопротивления нейтронно-легированного p-Ge <i>А. Г. Андреев, С. В. Егоров, А. Г. Забродский, Р. В. Парфеньев, А. В. Черняев</i>	9
Трансформация зонного спектра $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_y$ с ростом содержания стронция <i>М. В. Елизарова</i>	10
Дифракция быстрых электронов на молекуле C_{60} <i>П. В. Ефимов</i>	11
Моделирование электрической проводимости гранулированных металлов — мезоскопический и макроскопический режимы <i>Д. А. Закгейм, И. В. Рожанский</i>	13
Критические явления и самоорганизация в сложных системах <i>О. В. Кириллова</i>	14
Механизмы формирования и свойства тонкоплёночных структур редкоземельный металл-кремний $\text{Si}(111)$ <i>М. В. Кузьмин</i>	15
О применении численных схем, основанных на решении задачи Римана в задачах динамики многокомпонентного газа <i>Ю. А. Куракин</i>	17

О применении технологии коллективной работы в Интернет при решении научных и технических задач <i>А. В. Лебедев, В. А. Сорочкин</i>	18
Увеличение квантового выхода фотолюминесценции под действием 1.06 мкм излучения в квантовых точках InAs/GaAs <i>Д. А. Мазуренко</i>	19
Магические числа в размерной трансформации электронной структуры кластеров серебра на кремнии <i>С. Ю. Никонов</i>	20
Численное моделирование деформирования и разрушения сред с полиморфными фазовыми переходами <i>Е. А. Ноткина, А. В. Чижов, А. А. Шмидт</i>	23
Ренормгрупповой расчет константы связи g_6 двумерной модели изинга <i>Е. В. Орлов, А. И. Соколов</i>	25
Смеси блок-сополимеров: микро- и макрофазовое расслоение <i>А. А. Полоцкий, Т. М. Бирштейн</i>	25
Теория флуктуаций интенсивности электронного циклотронного излучения в токамаках <i>А. Д. Пилия, А. Ю. Попов</i>	27
Расчет характеристик планарных линий передачи со слоистым диэлектрическим заполнением модифицированным методом коллокаций <i>А. Г. Резванов</i>	28
Проблема поперечной проводимости при сильном возмущении плотности и теория зонда в плазме пристеночной области токамаков <i>А. А. Ушаков</i>	29
Многоступенчатая лазерная ионизация паров 1,4-дигидроксibenзола и 1,2-диметоксибензола <i>М. Е. Акопян, В. И. Клейменов, М. В. Клейменов, А. Г. Феофилов</i>	30
Импедансные граничные условия для сеток из параллельных проводников <i>В. В. Яценко</i>	31
Дипломные проекты	33
Гидродинамические свойства комплекса иономер поверхностноактивное вещество в м-ксилоле <i>Д. У. Алекберов, Е. А. Антонов</i>	33

Самоупорядоченные микрорезонаторы в кремниевых наноструктурах Н. Т. Баграев, А. Д. Буравлев, Л. Е. Клячкин, А. М. Маляренко, С. А. Рыков	33
Исследование роли транскрипционных факторов TCF в регуляции протоонкогена <i>c-fos</i> в E1A+c-Ha-tag трансформированных фибробластах <i>М. В. Васильева</i>	34
Создание библиотеки кДНК и экспрессия кДНК гена глюкоамилазы из грибного штамма <i>Aspergillus awamori</i> var.X-100 <i>И. В. Гончар</i>	36
Обобщение пространственно-временного лучевого метода для электромагнитных сред с последствием <i>А. А. Григорьев</i>	37
Расчёт волн, распространяющихся в трёхслойной невзаимной многомодовой волноведущей структуре, методом Галёркина <i>К. В. Гузенко</i>	39
Изучение тканеспецифической регуляции экспрессии гена церулоплазмينا в онтогенезе <i>Н. Е. Гюлиханданова</i>	40
Клонирование и молекулярно-генетическое исследование участка ДНК, необходимого для образования шпилек на концах линейной плазмиды N15 в клетках <i>E.coli</i> <i>Е. В. Дьяченко</i>	41
Метод ренормгруппы в теории турбулентности двухпетлевой расчет РГ-функций и константы Колмогорова <i>Ю. Кабриц, М. Компаниец</i>	42
Сверхизлучение в полупроводниках <i>Л. Я. Карачинский</i>	43
Технологические и организационно-правовые аспекты защиты передаваемой информации <i>В. В. Каулио</i>	45
Диэлектрические и оптические свойства карбосиланового дендримера, содержащего концевые мезогенные группы <i>Е. И. Рюмцев, С. А. Ковшик</i>	46
Транскрипционная система <i>in vitro</i> и ее применение в изучении трансляции: Роль гипермодифицированного основания У37 дрожжевой мРНК в кодон-антикодонном взаимодействии <i>А. Л. Коневега</i>	46

Разработка и реализация модуля сопряжённого моделирования гидродинамических и теплофизических процессов в составе интегрированной САПР литейной технологии <i>Д. А. Луковников</i>	48
Вопросы организации интерактивного взаимодействия в системах Internet-провайдеров <i>Д. Новиков</i>	49
Сине-зеленые лазеры на основе соединений (Zn,Mg,Cd)(S,Se) <i>И. Новиков</i>	50
Выстраивание нового аксиального центра железа в KTaO_3 поляризованным светом С. А. Басун, В. Э. Бурсиан, <i>А. Г. Раздобарин</i> , Л. С. Сочава	52
Исследование асимптотики $d \rightarrow \infty$ в модели Крейчнана турбулентного перемешивания пассивной примеси <i>А. В. Рунов</i>	53
Прыжковая релаксация локализованных экситонов <i>С. А. Тарасенко</i>	54
Регулируемая спин-волновая бездисперсионная линия задержки <i>А. Б. Устинов</i>	54
Применение принципа минимизации погонного производства энтропии в алгоритмах выбора оптимальных режимов плазменной сварки, нанесения покрытий и упрочнения <i>Б. О. Христовис</i>	56
Организация репликативных доменов ДНК в S-фазных ядрах клеток человека <i>В. О. Чагин</i>	58
Клонирование фрагмента экзона 4А гена рецептора липопротеинов низкой плотности человека <i>И. М. Шапиро</i>	59
Поисковые проекты	61
Псевдоизотропный g -фактор тяжелых дырок в плоскости квантовой ямы <i>А. В. Кудинов</i> , Ю. Г. Кусраев, И. Г. Аксянов, Б. П. Захарченя	61
Исследование ориентированных по спину фотофрагментов с использованием техники суб-доплеровской Фарадеевской регистрации <i>Б. В. Пичеев</i> , К. О. Коровин, О. С. Васютинский	62

Об аномальной величине лэмбовского сдвига обусловленного поверхностными плазменными модами фуллерена <i>В. В. Роткин</i>	63
Эффект фокусировки излучения в РОС-лазере с искривленными штрихами решетки <i>Г. С. Соколовский</i>	64