

Исследование процессов перезарядки МДП - элемента памяти с квантовыми точками германия в качестве плавающего затвора.

Алямкин Сергей Анатольевич

Новосибирский Государственный Университет

Канд. физ.-мат. наук Степина Наталья Петровна

telaut@mail.ru

Элементы памяти являются неотъемлемой частью многих устройств, таких как сотовые телефоны, переносные видеокамеры, mp3-плееры и др. Элементы памяти в портативных устройствах должны обладать рядом свойств: энергонезависимость, низкое рабочее напряжение, высокая скорость записи/чтения информации, высокая плотность элементарных ячеек памяти (минимизация). Для данных целей наиболее подходящей является flash-память, конструируемая на базе МОП- транзисторов с плавающим затвором.

Для улучшения характеристик работы элемента памяти было предложено в качестве плавающего затвора использовать квантовые точки германия. По сравнению с обычной flash-памятью, при прочих равных условиях, использование квантовых точек позволяет увеличить время хранения заряда с одновременным увеличением скорости записи/чтения информации. Этот эффект достигается за счет блокировки латерального переноса заряда внутри плавающего затвора, что уменьшает утечки через локальные дефекты в диэлектрике, т.к. носители заряда (электроны/дырки) локализованы на состояниях в квантовых точках.

В данной работе изучаются процессы перезарядки в МДП-конденсатора, с квантовыми точками германия, захороненными в диэлектрике. При подготовке структур к измерениям на кремниевой пластине выращивался термический окисел, затем на диэлектрике выращивался массив квантовых точек, при помощи осаждения слоев германия на SiO_2 , размер нанокластеров 7-8нм, плотность массива точек 10^{12} см^{-2} ; затем массив закрывался слоем поликремния посредством МЛЭ. Далее образцы подвергались термическому окислению: согласно предложенной методике селективного окисления, позволяющей получить Ge островки, захороненные в диэлектрике. Окисление проводилось при $T=900^\circ\text{C}$, время окисления варьировалось в пределах 60-120мин. Состав и размер выращенных структур контролировался спектральной эллипсометрией.

Задачами данной работы являлись изучение процессов селективного окисления и процессов перезарядки МДП-структур. Основной методикой, используемой в данной работе для изучения процессов перезарядки, является измерение высокочастотных (1МГц) вольт-фарадных характеристик (CV-характеристики). Методика позволяет зарегистрировать наличие “эффекта памяти”, изучить электрические свойства структур, провести анализ энергетического спектра носителей захваченных на локализованные состояния в диэлектрике, а так же контролировать свойства выращенных структур. Параллельно экспериментальным измерениям проводилось компьютерное моделирование CV-характеристик МДП-структур. Процессы селективного окисления изучались по данным спектральной эллипсометрии и данным вольт-фарадных измерений.

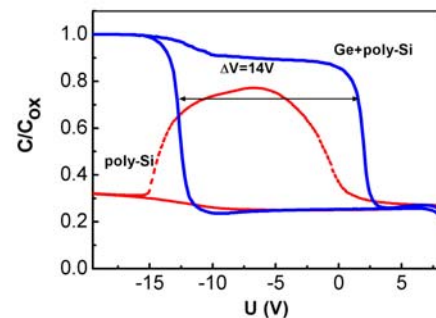


Рис.1. Сравнение экспериментальных CV-характеристик образцов.

В данной работе проведено сопоставление МДП-конденсаторов с поликремнием и Ge квантовыми точками в качестве плавающего затвора, и продемонстрирован положительный эффект при использовании Ge квантовых точек (рис 1). В результате сравнения экспериментальных и теоретических CV-характеристик были вычислены плотности заряда, соответствующие электронной и дырочной зарядке структуры; найдены значения уровней энергии для электронов и дырок в квантовых точках Ge, захороненных в SiO₂, рассчитана зонная структура МДП-конденсатора для режимов записи, чтения и хранения информации с учетом энергетических уровней для электронов и дырок (рис 2).

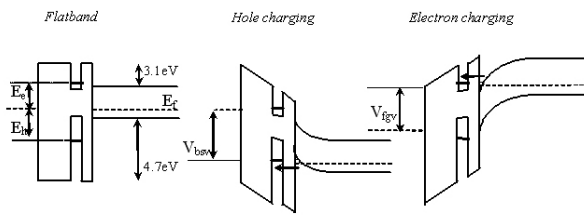


Рис.2 Зонная диаграмма МДП-структуры с учетом энергетических уровней носителей

SiO₂, рассчитана зонная структура МДП-конденсатора для режимов записи, чтения и хранения информации с учетом энергетических уровней для электронов и дырок (рис 2).

Установка для исследования диэлектрических свойств сегнетоэлектриков методом тепловых шумов¹

Бедняков Петр Сергеевич²

аспирант

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: petr_bednyakov@mail.ru

На протяжении последнего десятилетия неуклонно растет использование в электронных устройствах наноразмерных сегнетоэлектрических элементов, в основном в форме тонких пленок, толщиной от 10 нм до 1000 нм. Привлекательной чертой таких элементов является возможность управления сегнетоэлектрическими свойствами посредством достаточно малых электрических напряжений. Поскольку для типичных промышленных сегнетоэлектрических материалов величина коэрцитивного поля составляет 50 кВ/см, то пленки толщиной меньшей, чем 1000 нм, уже возможно интегрировать в современные электронные устройства, где они могут играть роль бистабильных элементов.

Такой выигрыш в величине электрического напряжения несет с собой и ряд трудностей. Одна из них связана с тем, что диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектрического кристалла зависит от величины приложенного к нему электрического поля. Для контроля качества сегнетоэлектрических образцов необходимо иметь возможность определения, так называемой, начальной диэлектрической проницаемости, которая должна быть измерена в электрических полях, на 2–3 порядка меньших коэрцитивного. В то же время, амплитуды измерительного напряжения современных промышленных LCR-метров ограничены снизу величиной порядка 1 мВ, что позволяет работать с образцами толщиной не менее 1000 нм.

В настоящей работе обсуждаются результаты, полученные посредством созданной на базе платы сбора данных NI-DAQ PCI-6221 оригинальной автоматизированной установки, которая позволяет исследовать диэлектрические свойства сегнетоэлектриков в электрических полях порядка 1 мкВ. Блок-схема установки представлена на Рис. 1. Управление измерениями и обработка данных осуществляется посредством программы, созданной в среде программирования LabVIEW.

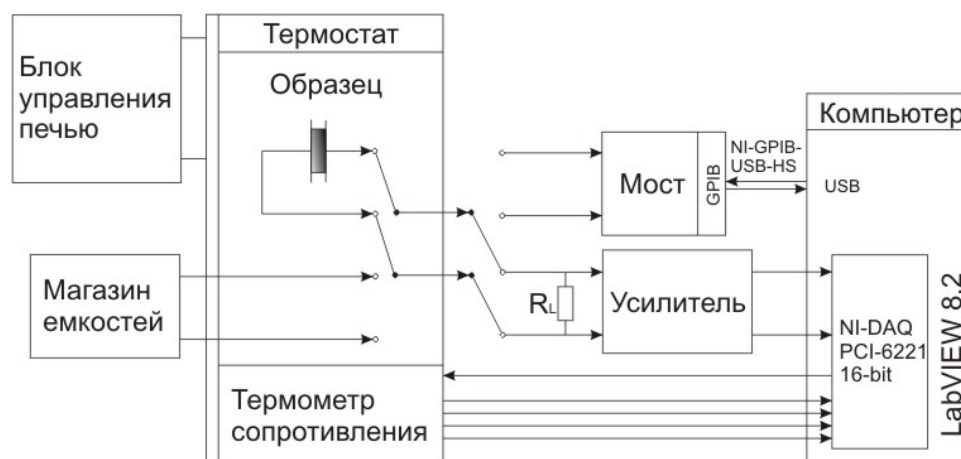


Рис. 1 Блок-схема экспериментальной установки.

¹ Тезисы доклада основаны на материалах исследований, проведенных в рамках гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант №08-02-01010-а)

² Автор выражает признательность старшему преподавателю к.ф.м.н. И.В. Шнайдштейну за помощь в подготовке тезисов

Плазмонные хиральные наноструктуры с эффектом гигантского оптического пропускания

Вабищевич Полина Петровна

студентка

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: vabishchevich@nanolab.phys.msu.ru

В последние годы большое внимание уделяется исследованию оптического отклика различных структур, имеющих субдлинноволновые особенности, например, металлическим пленкам с массивами отверстий нанометровых масштабов. Область оптики, изучающую методы управления светом в металлических наноструктурах на таких масштабах, принято называть наноплазмоникой. Одним из интересных явлений этой области является эффект гигантского оптического пропускания. Вплоть до 1998 года считалось, что свет не может проходить через отверстие в оптически толстом слое металла, имеющее диаметр меньше половины длины волны. Однако недавно было показано [1], что при определенном подборе параметров отверстий возможно наблюдение существенного пропускания света (более 4 %) для определенных длин волн. Это связано с возбуждением поверхностных плазмон-поляритонных мод на поверхностях структур с периодическими особенностями, имеющими размеры порядка длины волны. Впоследствии, данное явление исследовалось в пленках с массивами самых разнообразных форм [2,3].

В данной работе проведено экспериментальное исследование свойств электромагнитного излучения видимого и ближнего ИК диапазонов, распространяющегося через наноструктурированные пленки благородных металлов с массивами наноотверстий различных форм, в том числе и хиральных. Будем называть отверстие хиральным, если никакими поворотами и перемещениями в плоскости пленки его нельзя совместить со своим зеркальным изображением.

Исследуемые образцы получены методом наноструктурирования с помощью фокусированного ионного пучка. Массив наноотверстий заданной конфигурации был изготовлен в серебряной пленке толщиной 150 нм, напыленной на подложку из плавленого кварца. Поле наноструктуры составляет $\sim 100 \times 100$ мкм.

Измеренные спектры пропускания образцов содержат характерные пики, подтверждающие наличие эффекта гигантского оптического пропускания. Обнаружен значительный поворот плоскости поляризации света и его деполяризация при прохождении через исследуемую структуру с хиральными отверстиями. На основании расчетов предсказано, что для структур с отверстиями прямоугольной формы состояние поляризации отраженного света зависит от взаимного расположения линии поляризации падающего плоскополяризованного излучения и основных направлений массива. В случае хиральных отверстий, также исследуемых в данной работе, поворот плоскости поляризации происходит вследствие чувствительности такого рода структур к направлению падающего циркулярно поляризованного свет. Показано, что вращение не зависит от ориентации образца относительно плоскости падения излучения.

Литература

- [1] T. W. Ebbesen, H. J. Lezec, H. F. Ghaemi, T. Thio, P. A. Wolff, "Extraordinary optical transmission through sub-wavelength hole arrays", *Nature* 391, 667 (1998).
- [2] K. L. van der Molen, F. B. Segerink, N. F. van Hulst, L. Kuipers, "Influence of hole size on the extraordinary transmission through subwavelength hole arrays", *Appl. Phys. Lett.* 85, 4316 (2004).
- [3] K. J. Klein Koerkamp, S. Enoch, F. B. Segerink, N. F. van Hulst, L. Kuipers, "Strong influence of hole shape on extraordinary transmission through periodic arrays of subwavelength holes", *Phys. Rev. Lett.* 92, 183901 (2004).

К вопросу об управлении намагниченностью в низкоразмерных системах

Вагин Дмитрий Вениаминович

аспирант

Поляков Олег Петрович

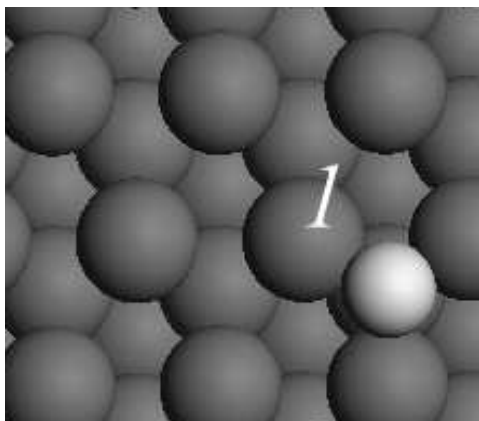
ассистент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: vagin@gen5521.phys.msu.ru

В настоящее время в связи с бурным развитием микро- и нанотехнологий возможность использования низкоразмерных систем для магнитной записи и передачи данных привлекает к себе особое внимание [1]. Прогресс в развитии сканирующей туннельной микроскопии позволил конструировать и исследовать структуры, состоящие буквально из отдельных атомов. Наибольший интерес представляют кластеры на поверхности твёрдых тел, поскольку их магнитные моменты могут быть сильно локализованными и достаточно большими [1, 2]. Если размер кластеров становится очень малым, то их поведение подчиняется квантовомеханическим законам. Это может приводить, например, к тому, что немагнитные в объёме металлы начинают проявлять магнитные свойства в кластерной форме или наоборот [1].

Прогресс в понимании физических свойств таких систем и возможность



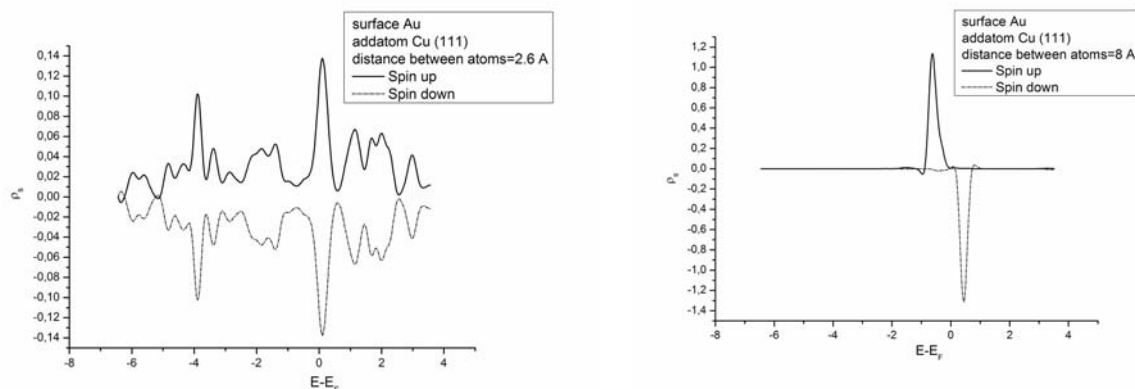
прогнозирования их характеристик связывается, прежде всего, с развитием новых вычислительных методов, основанных на теории функционала плотности [3]. Экспериментальные и теоретические исследования поведения магнитных атомов встречаются в литературе довольно часто в последние 10 лет [2, 4]. Однако, последние эксперименты показали, что парамагнитные и немагнитные кластеры обнаруживают похожее поведение при взаимодействии с поверхностями благородных металлов [5, 6]. В данной работе для проведения расчётов был использован пакет программ VASP, в основе которого лежат метод PAW

потенциалов и процедура расчёта самосогласованной электронной плотности Кона-Шэма [3]. Рассмотрим парамагнитный атом Cu в положении указанном на рисунке (белый шар 1) на подложке Au(111) (тёмные шары). Поверхность золота моделировалась пятью слоями (4x4) по 16 атомов в каждом. Для интегрирования по зоне Брюэллена использовалась Monkhorst-Pack сетка k-точек 5x5x1 [4]. В ходе вычислений производилась релаксация трёх верхних слоёв подложки и атома примеси. В качестве постоянной решётки бралось экспериментальное значение 4.08 Å. Силы, действующие на ионы, рассчитывались в соответствии с теоремой Геллмана-Фейнмана, включая поправки Харриса-Фолкса. Исходя из их значений, производилась оптимизация геометрии системы (сдвиг ионов в направлении действия результирующей). Итерационная процедура останавливалась, если изменение энергии системы в ходе последовательных вычислений было менее 0.001 eV, а силы, действующие на атомы, не превышали 0.01 eV/Å.

На рис. 1 представлен результат численного расчёта рассматриваемой системы с учётом спин-орбитального взаимодействия электронов - это распределение локальной плотности состояний на 4s уровне атома примеси Cu по энергиям. Начало координат на графике соответствует энергии Ферми. Видно, что атом меди непосредственно на поверхности золота не обладает магнитным моментом (в системе отсутствует различие в энергии для состояний с разными спинами), при удалении от поверхности Au (111)

постепенно возникает расщепление спинов на 4s уровне примеси, и величина магнитного момента атома Cu увеличивается, достигая постоянного значения на расстоянии в 8 Å от поверхности. Такое поведение намагнитченности можно объяснить, предположив возникновение сильной гибридизации 4s уровня адатома Cu вблизи поверхности Au [7].

Таким образом, в представленной работе получено распределение плотности электронных состояний в одномерной парамагнитной системе: адатом Cu на поверхности Au (111). Предложен механизм исчезновения магнитного момента на поверхности золота в такой системе, основанный на виртуальных переходах электронов между энергетическими уровнями атомов подложки и примеси и образовании виртуальных связанных состояний.



(a)

(б)

Рис 1. Плотность состояний на s уровне атома примеси Cu на расстоянии (а) 2.6 Å от поверхности Au (111) и (б) на расстоянии 8 Å.

Литература

1. Brune H., Bromann K., Kern K. et al. Self-organized growth of nanostructure arrays on strain-relief patterns // Nature. 394. 1998. p. 451.
2. Chen W., Jamneala T., Madhavan V. et al. Disappearance of the Kondo resonance for atomically fabricated cobalt dimmers // Phys. Rev. B V.60. №12. 1999.
3. Dreizler R.M., Gross E.K. Density functional theory. – Springer. 1990.
4. Gotsis H. J., Kioussis N. Evolution of magnetism of Cr nanoclusters on a Au(111) surface // arXiv:cond-mat/0509384 v1. 2005.
5. Crommie F. Manipulating magnetism in single molecule // Science. V.309. 2005. p. 1501.
6. A. Zhao et al., Science V.309. 2005. p. 1542.
7. Frota-Pessoa S. Magnetic behavior of 3d impurities in Cu, Ag and Au: First-principles calculations of orbital moments // Phys. Rev. B V.69. 2004. p. 104401.

Шумовые характеристики и зарядовая чувствительность одноэлектронного транзистора из высокодопированного кремния на изоляторе³

Власенко Вячеслав Сергеевич⁴

аспирант,

Амионов Сергей Владимирович

студент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: kivals@mail.ru

Разработана технология и изготовлен одноэлектронный транзистор на основе высокодопированного кремния на изоляторе (КНИ). Для того чтобы кремниевый одноэлектронный транзистор можно было использовать в качестве сверхчувствительного электрометра, необходимо добиться высоких значений его зарядовой чувствительности и низкого уровня зарядового шума. Представляется интересным сравнить электрические и шумовые характеристики кремниевых и традиционных алюминиевых транзисторов с одинаковыми параметрами.

Преимущества одноэлектронного транзистора из КНИ по сравнению с ранее продемонстрированными устройствами [1-2]: более простая технология изготовления, механическая прочность, устойчивость к электрическим перегрузкам, возможность увеличения рабочей температуры при том же разрешении литографии, возможность изготовления подвешенных структур. Транзистор на основе высокодопированного КНИ может быть использован в качестве высокочувствительного полевого и зарядового сенсора с рабочей температурой от 4.2 К до 300 К.

Экспериментальные структуры были изготовлены из высокодопированного (до концентраций носителей порядка 10^{20} см^{-3}) кремния на изоляторе с толщиной верхнего «рабочего» слоя кремния $\sim 50 \text{ нм}$. Толщина оксида SiO_2 между верхним слоем и кремниевой подложкой составляла 150 нм . В данной работе не ставилась цель изготовления предельно малых высокотемпературных устройств. Для корректного сравнения с аналогичными [1] металлическими одноэлектронными транзисторами был изготовлен ряд кремниевых образцов с характерной для классических структур величиной зарядовой энергии порядка $10\text{-}20 \text{ К}$. Размер острова транзистора составлял величину порядка 100 нм (рис. 1.), что, разумеется, не является пределом предложенного метода изготовления.

Максимальная зарядовая чувствительность транзистора на основе высокодопированного КНИ достигается при напряжении сток-исток 1 мВ в точке максимального наклона модуляционной кривой и составляет величину 15 нА/е , что в 3-4 раза лучше, чем типичная чувствительность металлического одноэлектронного транзистора.

Зарядовый шум в транзисторе на основе высокодопированного КНИ на частоте 10 Гц составил величину $2,7 \times 10^{-4} \text{ е/Гц}^{1/2}$ при напряжении сток-исток 1 мВ и $2,3 \times 10^{-4} \text{ е/Гц}^{1/2}$ при

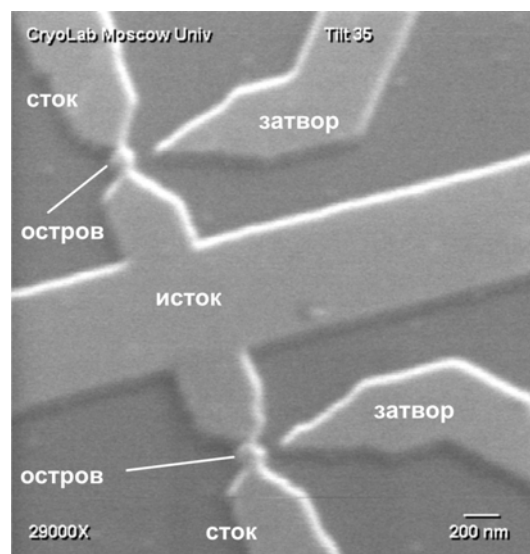


Рис. 1. Сформированные структуры одноэлектронных транзисторов. (Фотография Р(астрового) ЭМ)

³ Данный проект поддерживался грантами от РФФИ 06-07-08045-офи и МНТЦ3457.

⁴ Авторы выражают свою благодарность профессору М.Ю.Куприянову за плодотворные обсуждения результатов в процессе данной работы.

0.15 мВ и температуре 30 мК. Увеличение тока протекающего через транзистор ведет к увеличению зарядового шума в нем. Такая же зависимость зарядового шума от тока через транзистор наблюдается и в металлическом одноэлектронном транзисторе, где источники зарядового шума расположены в диэлектрической подложке. Технология позволяет изготовить подвешенные структуры, полностью изолированные от контакта с подложкой, что, вероятно, должно понизить уровень этого шума [1].

Предложенная технология наряду со своей относительной простотой дает еще одно неоспоримое преимущество, а именно, изготовление структур меньших размеров, чем рассматриваемые в данной работе, что в свою очередь приведет к повышению рабочих температур подобных устройств. Все это позволяет рассчитывать на одноэлектронный транзистор на основе высокодопированного КНИ как на очень перспективное устройство для будущих микро- и нанoeлектронных исследований, в частности, для изготовления сверхчувствительного электрометра для создания нового вида сканирующей микроскопии.

Литература

1. V.A. Krupenin, D.E. Presnov, M.V. Savvateev, H.Scherer, A.B. Zorin, J. Niemeyer, "Noise in Al single-electron transistor of stacked design", *J. App. Phys.* **84** 6 (1998), 3212-3215
2. Yukinori Ono, Kenji Yamakazi, Masao Nagase, Seiji Horiguchi, Kenji Shiraishi, Yasuo Takahashi, "Single-electron and quantum SOI devices", *MEE* **59** (2001), 435-442

Разработка способа нековалентной фиксации ДНК на поверхности монокристалла кремния

Волков Иван Леонидович

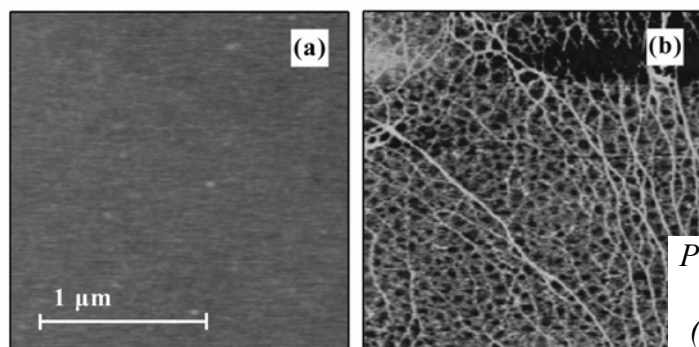
студент

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: volk.ne@gmail.com

В настоящее время большой интерес представляет конструирование микро- и наноструктур с заданными свойствами на основе биополимеров. В частности, для таких целей используют нуклеиновые кислоты. Благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам (комплементарность цепочек, высокая плотность заряда, большая жесткость) ДНК находит широкое применение при создании биодатчиков, сенсоров, нанопроволок и др. Использование кремния в качестве твердой подложки открывает новые перспективы. Кремний – основной материал современной микроэлектроники. Благодаря доступности сырья и отработанной технологии использование кремния в сочетании с ДНК в нанозлектронике представляется весьма перспективным.

В предлагаемой работе рассматривается возможность нековалентной фиксации ДНК на поверхности монокристалла кремния р- и n-типа, с ориентацией (100). Кристаллы изготовлены методом бестигельной зонной плавки (float zone). Проводится сравнение различных способов подготовки поверхности для фиксации ДНК. Проверка фиксации осуществляется при помощи атомной силовой микроскопии (АСМ) на приборе NanoScope 4a, Veeco. Традиционно при исследовании методами сканирующей зондовой микроскопии для фиксации нуклеиновых кислот используют поверхность свежесколотой слюды, при этом в раствор добавляют ионы магния для сцепления отрицательно заряженной молекулы ДНК с отрицательной поверхностью подложки. В отличие от слюды, которая является хорошим диэлектриком, кремний – полупроводник, поэтому зарядовыми свойствами поверхности кремния можно управлять с помощью внешних воздействий: приложив электрическое поле или осветив кристалл. При воздействии света на кремний р-типа неосновные носители заряда подходят к поверхности и могут быть захвачены на поверхностные состояния. Такой заряд при комнатной температуре может сохраняться десятки минут. Для эффективной перезарядки поверхностных



состояний необходимо, чтобы свет проник на глубину, превышающую толщину области пространственного заряда (ОПЗ) на величину порядка длины диффузии неосновных носителей.

Рис. АСМ-изображения поверхности кремния р-типа.
(а) - необработанная поверхность.
(б) - ДНК на поверхности кремния при оптимальных условиях приготовления образца

Анализ экспериментальных данных позволил сформулировать требования к условиям для нековалентной фиксации ДНК на поверхности монокристалла кремния р- и n-типа. Фиксация ДНК на поверхность кремния р-типа реализуется из раствора, содержащего ионы магния, при освещении образца светом с длиной волны $\lambda = 680$ нм. При этом слой окисла на поверхности кремния должен быть достаточно тонким.

Расчет взаимной эффективной емкости молекул

Герасимов Ярослав Сергеевич

студент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: yarger@bk.ru

Создание одноэлектронных устройств с базовыми элементами на основе отдельных молекул, размер которых не превышает несколько нанометров, а в одноэлектронном молекулярном транзисторе расстояние между которыми составляет порядка 2 нм, является самой интригующей и перспективной задачей в настоящее время. Один из возможных способов создания таких устройств – комбинирование классических электронных устройств и нанoeлектронных элементов (молекул, кластеров, нанотрубок и т.д.). Теоретическое рассмотрение комбинированных устройств осложнено тем, что их различные части описываются физическими параметрами неодинаковой природы. Для описания классических электронных устройств используются макроскопические понятия емкости, сопротивления и индуктивности, тогда как нанoelementы характеризуются вероятностными квантовыми характеристиками.

В этой работе для решения проблемы теоретического описания комбинированных одноэлектронных устройств нанометрового масштаба мы использовали подход “сверху вниз”. Нами было впервые показано, что для отдельных молекул, кластеров, наногранул и т.п. можно ввести понятие электрической собственной и взаимной эффективной емкости. Указанный подход «сверху вниз» дает возможность использовать хорошо известные и надежные методы электронной схемотехники для расчета электрических параметров комбинированных электронных устройств.

Предложен метод определения эффективной емкости нанoelementов, который основывается на предположении, подтвержденном экспериментальными данными и численными расчетами - зависимость полной энергии молекулы в основном состоянии от ее полного заряда является квадратичной функцией.

Результаты настоящей работы подтвердили возможность применения понятия взаимной емкости к наноразмерным объектам. Расчеты произведены для молекулы карборана $C_2B_{10}H_{12}$. Для двух молекул, расположенных на расстоянии заключенном в интервале от 25 до 200 ангстрем, рассчитанные значения взаимной эффективной емкости меняются от $-3,68 \cdot 10^{-21} \text{Ф}$ до $-4,62 \cdot 10^{-22} \text{Ф}$. Точность расчета составляет $3 \cdot 10^{-23} \text{Ф} - 5 \cdot 10^{-24} \text{Ф}$. Диапазон применимости полученных результатов: расстояние между нанoelementами должно лежать от 7 ангстрем [1].

Энергия взаимодействия рассчитана в приближении прямых электростатических взаимодействий при отсутствии обменных эффектов. Численным расчетом показано, что для всех возможных пар выбранных зарядовых состояний молекул значение энергии взаимодействия прямо пропорционально произведению полных зарядов молекул.

Порядок полученных значений и экспоненциальный характер убывания взаимной емкости с расстоянием между молекулами подтверждает хорошее согласие результатов с классическими электростатическими представлениями и корректность предложенного метода.

Литература

1. Каплан И.Г. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий. – М.: Наука, 1982-312с.

Формирование микро- и наноструктур при облучении поверхности пористого кремния фемтосекундными лазерными импульсами.

Джунь Ирина Олеговна⁵

студент

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова,

физический факультет, Москва, Россия

E-mail: irinkin007@mail.ru

Введение.

Одной из немаловажных задач современной микроэлектроники является создание наноструктурированных материалов с узким распределением размеров структурных компонент. Ввиду этого большой практический интерес представляет собой использование мощных сверхкоротких лазерных импульсов для обработки материалов с большой точностью и развитие простого способа создания наноструктур контролируемой величины за счет изменения параметров излучения и состава окружающей среды. Данная работа посвящена изучению формирования микро- и наноструктур на поверхности пористого кремния под действием фемтосекундных лазерных импульсов. Пористый кремний был выбран для исследования как среда, состоящая из пор и нанокристаллов размером от единиц до сотен нанометров.

Методика эксперимента.

В ходе эксперимента проводилось фемтосекундное облучение поверхности пористого кремния в вакууме при комнатной температуре. Для получения фемтосекундных лазерных импульсов использовалась система производства ООО "Авеста-Проект". На выходе из системы импульсы имели линейную поляризацию, длительность 80 фс и энергию около 250 мкДж при частоте повторения 7-10 Гц. Контроль выходной интенсивности осуществлялся с помощью оптического измерителя мощности *Coherent FieldMax-TO*. Образцы пористого кремния были получены путем анодного электрохимического травления пластин p^{++} -Si:B с кристаллографической ориентацией поверхности (100) в растворе 48% плавиковой кислоты с этанолом в соотношении 1:1. В зависимости от уровня легирования подложки для $\rho = 3 - 6 \text{ мОм}\cdot\text{см}$ и $\rho = 15 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ были изготовлены пластинки мезо- и микропористого кремния соответственно. Отделения свободных пленок пористого кремния от подложек не производилось. Для исследования осаждения аблировавших частиц использовались покровные стекла толщиной 0.1 мм фирмы *Biovitrum*, устанавливаемые над образцом кристаллического или пористого кремния на расстоянии 1-2 мм над кремниевой мишенью. Наблюдение получаемых на поверхности пористого кремния структур осуществлялось с помощью оптического микроскопа *Olympus U-5RE-2* спектрометра комбинационного рассеяния *LABRAM* производства *Horiba Jobin Yvon LABRAM*. Для исследования поверхности покровных стекол использовался *C3M Solver PRO* производства компании *НТ-МДТ*.

Экспериментальные результаты и их обсуждение.

На облученной фемтосекундными лазерными импульсами поверхности пористого кремния методами оптической микроскопии зарегистрированы упорядоченные микроструктуры с характерным периодом, близким к длине волны формирующего лазерного излучения. При используемых нами энергиях лазерного излучения ориентация полученных структур всегда перпендикулярна направлению поляризации лазерного излучения. Показано, что при облучении в вакууме период возникающих структур не изменяется при увеличении

⁵ Научный руководитель работы - кандидат физико-математических наук, доцент Головань Л.А.

числа лазерных импульсов. Определена пороговая плотность энергии образования периодических структур на поверхности пористого кремния, значение которой составило 0.02 мДж/см^2 , что оказалось в 25 раз ниже соответствующего порогового значения для кристаллического кремния [1]. Кроме того, выяснилось, что период структур, получаемых на поверхности пористого кремния меньше периода структур, получаемых на поверхности кристаллического кремния, что объясняется различием их диэлектрической проницаемости [2].

Методом атомно-силовой микроскопии исследовались частицы, вынесенные в процессе абляции с поверхности микропористого кремния (средний размер пор составляет около 2 нм [3]). Оказалось, что эти частицы имеют большие, по сравнению со случаем кристаллического кремния размеры. Структура осажденных образований также отличается и для различных значений давления. В результате проведенного анализа было обнаружено, что при больших давлениях (100-200 мбар) аблировавшие частицы образуют комплексы значительных размеров (400-500 нм), при меньших же давлениях (0,1-1 мбар) оседающие на покровное стекло структуры в латеральном размере в большинстве не превышают 200-300 нм.

Литература.

1. С.В. Заботнов, Л.А. Головань, И.А. Остапенко и др. “Фемтосекундное наноструктурирование кремниевых поверхностей” // Письма в ЖЭТФ, 83 (2), 76 (2006)
2. М.Н. Либенсон “Поверхностные электромагнитные волны оптического диапазона” // Соросовский образовательный журнал, №10, 1996
3. J. Rouquerol, D. Avnir, C.W. Fairbridge, D.H. Everett, J.H. Haynes, N. Pernicone, J.D.F. Ramsay, K.S.W Sing, K.K. Unger “Recommendations for the characterization of porous solids” // Pure Appl. Chem, 1994. v. 66, pp. 1739-1758

Технология выращивания из пентагональных нанообъектов композиционной микропроволоки, ее свойства и область применения⁶

Дорогов Максим Владимирович
аспирант

Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия

E-mail: maxim@tltsu.ru

Нанообъекты – это объекты (пленки, частицы, усы, трубки) для которых хотя бы один из трех размеров не превышает 100 нм. При изготовлении из них методом порошковой металлургической обработки давлением, методом сварки взрывом микро- и макроизделий свойства массивных материалов резко ухудшается по сравнению со свойствами отдельных нанообъектов, зачастую это оказывается экономически не выгодно.

Нами предложен способ выращивания готовых микроизделий, непосредственно из пентагональных металлических нанообъектов (способ патентуется). Используя этот метод, нами получена композиционная микропроволока, состоящая из пластичной, электропроводной металлической оболочки, в которую заключена твердая и прочная и износостойкая сердцевина, например, из борного или графитового волокна. Сущность технологии получения композиционной микропроволоки, заключается в следующем:

1. На первом этапе, по авторской методике [1], получаем на подложке методом электроосаждения пентагональные микротрубки длиной 20-30 мкм и диаметром 2-4 мкм, являющихся по определению из-за тонкой оболочки (менее 100 нм) нанообъектами (рис. 1 а).
2. Подложку с трубками помещаем под микроскоп и при помощи манипуляторов вставляем в трубки волокна или усы (схема рис. 1 б).
3. Затем подложку с заготовками помещаем в раствор электролита и методом электроосаждения металла производим зарастивание волокон или усов металлом.

Благодаря наличию пентагональной симметрии, а значит дисклинации, рост трубки будет происходить только в длину [1], так формируется композиционная микропроволока



Рис. 1. Пентагональная микротрубка (а), схема изготовления (б) из нее композиционной микропроволоки (в)

Получаемые по предложенному способу пентагональные нити композиционного материала могут иметь диаметр порядка 1...10 мкм и практически неограниченную длину, которая зависит лишь от длины применённого волокна, составляющего сердцевину.

Полученная нами композиционная микропроволока, обладает уникальными характеристиками: одновременно высокой электропроводностью и прочностью, что позволит ей найти широкое применение в технике и медицине.

На основе композиционной микропроволоки можно изготавливать миниатюрные детали типа прочных микропроводов, микроиглол, щупов, зондов и электрических микроконтактов с высокой прочностью и износостойкостью, а также с хорошими электрическими свойствами.

Литература

1. Викарчук А.А., Ясников И.С. Структурообразование в наночастицах и микрокристаллах с пентагональной симметрией, формирующихся при электрокристаллизации металлов. – Тольятти: ТГУ, 2006. – 206с.

⁶ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ Р-офи № 08-02-99034, под руководством д.ф.-м.н., профессора А.А. Викарчука.

Фотолюминесцентные свойства ионов эрбия в ансамблях кремниевых нанокристаллов в матрице диоксида кремния при высоких уровнях оптического возбуждения

Дьяков Сергей Александрович⁷

Аспирант

Жигунов Денис Михайлович

Научный сотрудник, к. ф.-м. н.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: sergey_dyakov@mail.ru

Электронные устройства как результат бурного развития микроэлектроники являются неотъемлемой частью повседневной жизни. Сейчас информация в них передается главным образом при помощи электрических сигналов. Использование фотонов в качестве носителей информации существенно увеличило бы пропускную способность каналов. Вот почему одной из актуальных задач современной оптоэлектроники является создание светоизлучающих устройств - лазеров и светодиодов, - основанных на кремнии. Их интеграция в планарную технологию даст возможность существенно улучшить ключевые телекоммуникационные параметры: скорость и надежность передачи информации.

Ввиду не прямой запрещенной зоны, кремний характеризуется низкой эффективностью люминесценции. В связи с этим особое внимание привлекают кремниевые нанокластеры. Их свойства сильно отличаются от свойств объемного кремния, что связано с появлением квантово-размерного эффекта при уменьшении характерных размеров до масштабов порядка длины волны де Бройля носителей заряда, т.е. нескольких нанометров.

Другой проблемой передачи данных через оптическое волокно посредством фотонов является минимизация затухания и дисперсии передаваемых волновых пакетов. Для наиболее дешевых в изготовлении кварцевых волокон длина волны, соответствующая минимуму потерь, примерно равна 1,5 мкм. Поэтому очень важным условием для создаваемых лазеров и светодиодов является длина волны излучения. Было обнаружено, что структуры кремниевых нанокластеров с примесью редкоземельного элемента эрбия проявляют эффективную фотолюминесценцию на длине волны 1,5 мкм.

Эффективность фотолюминесценции обуславливается переносом энергии от возбужденных нанокластеров к ионам эрбия [1]. Помимо традиционных измерений спектров ФЛ экситонов и ионов эрбия, на основании анализа временных профилей спада и нарастания ФЛ были вычислены средние времена переноса энергии. Данная величина составила ≈ 5 нс.

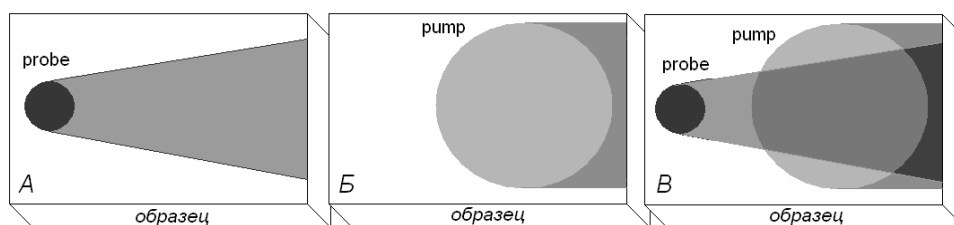


Рис.1 Схема измерения оптического усиления.

⁷ Автор выражает признательность профессору, д. ф.-м. н. Тимошенко В.Ю. за помощь в подготовке тезисов.

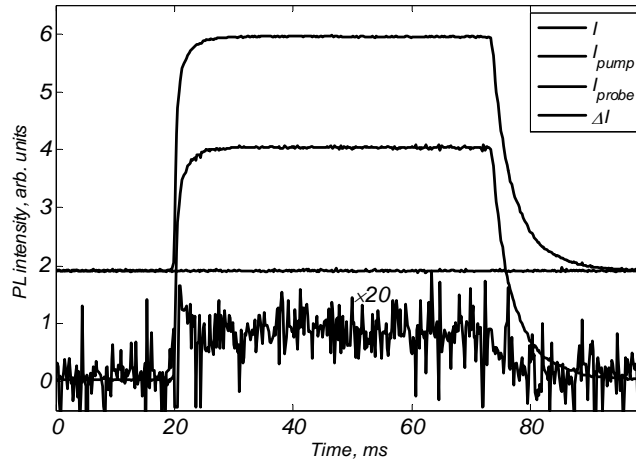


Рис.2. Кинетики ФЛ образца $nc\text{-Si:SiO}_2\text{:Er}$, измеренные на длине волны 1546 нм, при различных возбуждающих излучениях, а также кинетика величины ΔI .

В предыдущих работах [1,2,3] исследовались кристаллические нанокластеры. В настоящей работе было показано, что аморфные нанокластеры также обладают способностью эффективно возбуждать ионы эрбия.

Обнаружено, что при интенсивностях накачки, большей $0,2 \text{ Вт/см}^2$ в системе ионов эрбия в образце, содержащем кремниевые нанокластеры достигается инверсная населенность. В связи с этим, при мощностях накачки 2 Вт/см^2 был измерен коэффициент усиления излучения с длиной волны 1546 нм (рис.1,2) при прохождении через образец, находящийся в условиях оптической накачки. Значение указанной величины составило 0.01.

Литература

1. Polman A. (1997) Erbium implanted thin film photonic material. *Journal of Applied Physics*, v.82, 1.
2. Imakita K., Fujii M., Hayashi S. (2005) Spectrally resolved energy transfer from excitons in Si nanocrystals to Er ions. *Physics Review Letters*, v.71.
3. Lourenco M., Gwilliam M., Homewood K. (2007) Extraordinary optical gain from silicon implanted with erbium. *Applied Physics Letters*, v.91, 141122.

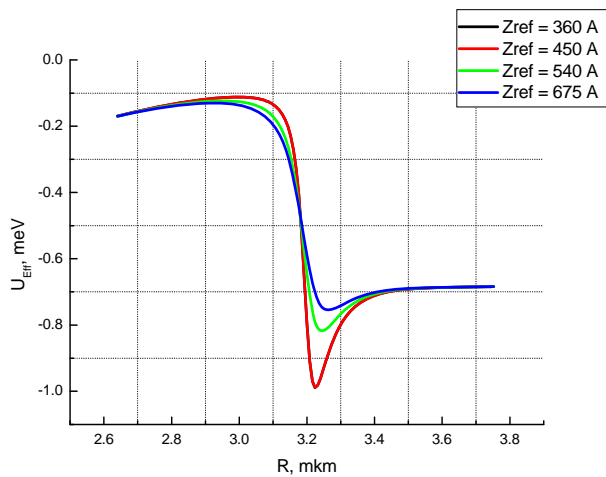
Люминесценция экситонного бозе-конденсата в кольцевой ловушке

Ефимкин Дмитрий Кириллович

Московский государственный университет им М. В. Ломоносова
В.А.Кульбачинский д.ф.-м.н, Ю.Е.Лозовик д.ф.-м.н

Введение

В работе рассматривается бозе-конденсация (БК) квазидвумерной системы экситонов с диполь-дипольным взаимодействием в кольцевой ловушке.

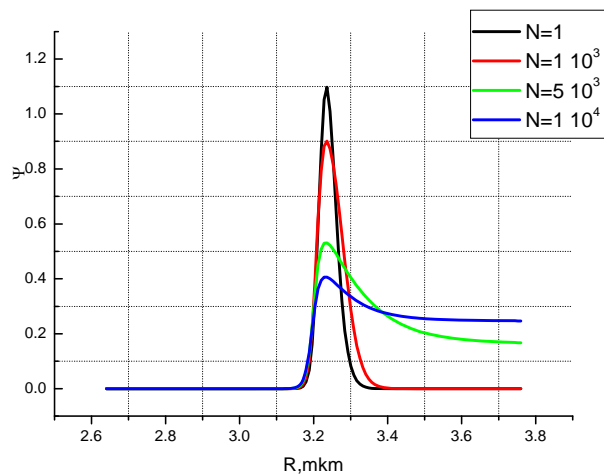


Предполагается, что экситоны возбуждены в одиночной квантовой яме, находящейся под затвором Шоттки с вырезанным круговым отверстием, и имеют дипольный момент, индуцированный внешним электрическим полем затвора [1]. При этом около границы кольца возникает неоднородное поле, создающее эффективную потенциальную яму для частиц, обладающих дипольным моментом.

При помощи введение в уравнение Шредингера мнимого времени задача об определении поляризуемости экситона под действием внешнего поля, находящегося в одиночной квантовой яме, сводится к решению двумерного квазилинейного уравнения теплопроводности.

Поставлена и решена численно задача Дирихле о пространственном распределении напряженности и потенциала электрического поля внутри и вне ловушки. Определено расположение асимметричной потенциальной ямы для экситонов, её профиль и глубина (рис.1).

Решена задача о нахождении профиля макроскопической волновой функции БК экситонов в приближении локальной плотности в удерживающем поле ловушки. В этом приближении система экситонов в ловушке описывается уравнением Гросса-Питаевского (ГП) [3]. В двумерном случае длина рассеяния при диполь-дипольном взаимодействии логарифмически расходится. В этом случае, как показано в [2], модельный потенциал корректно ввести:



$$U(\vec{r}_2 - \vec{r}_1) = -\frac{4\pi\hbar^2}{m \cdot \ln(n \cdot a_0^2)} \cdot \delta(\vec{r}_2 - \vec{r}_1), \quad (1)$$

что вводит дополнительную нелинейность в уравнение. Уравнение ГП с модельным потенциалом (1) решается численно при помощи 2-х методов: а) Вариационным методом ищется минимум функционала ГП: б) методом мнимого времени решается уравнение ГП. Исследуется влияние на макроскопическую функцию БК как внешнего поля ловушки, так и внутреннего взаимодействия. На рис.2 приведены волновые функции ψ БК экситонов в кольцевой ловушке.

Рассмотрен вопрос о связи интерференционных картин люминесценции с распределением экситонов по импульсам. Рассмотрены вихревые возбуждения, существенно меняющие импульсное распределение. Найдены положения топологических возбуждений БК, соответствующие наименьшей энергии. Посчитан потенциал взаимодействия вихрей между собой. Построены соответствующие каждому случаю картины люминесценции, качественно совпадающие с [1]. Общим результатом работы является доказательство, что в данной системе действительно осуществилась бозе-конденсация.

Литература

1. Горбунов А.В. Тимофеев В.Б., Межъямные экситоны в латеральной потенциальной яме в неоднородном электрическом поле, Письма в ЖЭТФ, том 80, вып. 3, с.210-215.
2. Самарский А.А., Андреев В.Б. Разностные методы для эллиптических уравнений - М.: Наука, 1977.
3. Pitaevskii L., Stringari S., Bose Einstein Condensation, Oxford, 2003
4. M.Shick, Phys. Rev.A3, 1067 (1971)
5. Yu.E.Loikov, O.L.Berman, Phase transitions in the system of spatially separated electrons and holes, JETP 84, N 5, 1027-1035(1997).

Зависимость спектров пропускания и фотолюминесценции коллоидного раствора квантовых точек CdSe/ZnS от температуры

Козлова Мария Владимировна
студентка

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: marija-kozlova@yandex.ru

В полупроводниковых квантовых точках (КТ) размерное квантование приводит к появлению дискретных энергетических уровней в зоне проводимости и в валентной зоне. Положение основного экситонного состояния в них в грубом приближении выражается формулой [1]: $E_n = E_g + \hbar^2 \pi^2 / 2\mu a^2$, где E_g – энергия ширины запрещенной зоны, μ – приведенная масса экситона, a – радиус КТ.

Автору известно лишь ограниченное число работ, посвященных исследованию температурной зависимости положения экситонного уровня в коллоидных КТ. В работе [2] на основании измеренных спектров фотолюминесценции КТ CdSe/ZnS в полимерной матрице в диапазоне температур 45 ÷ 295 К сделаны следующие выводы: 1) температурный сдвиг экситонного состояния $1S_{3/2}^h \rightarrow 1S_e$ определяется только зависимостью от температуры энергии ширины запрещенной зоны; 2) энергия квантово-размерной добавки от температуры не зависит.

В данной работе исследовались особенности спектров пропускания и фотолюминесценции коллоидного раствора КТ CdSe/ZnS в гексане, полученного методом металлоорганического синтеза, при температурах 20 ÷ 50⁰ С. Диапазон температур ограничен свойствами гексана. Измеренные энергии экситонного перехода $1S_{3/2}^h \rightarrow 1S_e$ при различных температурах показаны на Рис.1. Представленная зависимость носит явный нелинейный характер. Одновременно на рисунке приведена аппроксимация экспериментальных данных с учетом только линейного изменения ширины запрещенной зоны с температурой (пунктирная линия) и с дополнительным учетом теплового расширения КТ (сплошная линия). В последнем случае для аппроксимации использовалось выражение $E(T) = \alpha T + b/(1 + cT)^2 + E_0$. Как видно из рисунка, только учет обоих этих механизмов позволяет достаточно точно описать полученную зависимость.

Тем самым показано, что сдвиг экситонного уровня с температурой определяется не только изменением ширины запрещенной зоны, но и зависимостью от температуры энергии размерного квантования, обусловленной тепловым расширением КТ. При этом измеренный коэффициент линейного расширения КТ $c \cong 4 \cdot 10^{-5}$ град⁻¹ превосходит аналогичный параметр для объемного полупроводника более чем на порядок.

Литература

1. А.Л. Эфрос, А.Л. Эфрос, «Межзонное поглощение света в полупроводниковом шаре», Физика и техника полупроводников, 1982, 16, 7, 1209.
2. D.Valerini, A. Creti, M. Lomascolo, « Temperature dependence of the photoluminescence properties of colloidal CdSe/ZnS core/shell quantum dots», Phys.Rev 71, 235409 (2005).

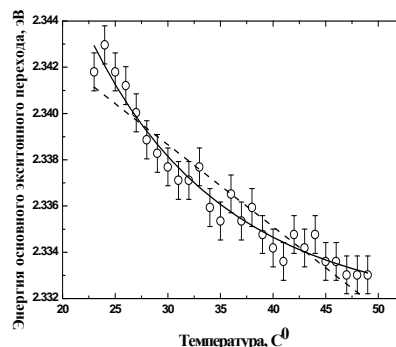


Рис.1. Зависимость энергии основного экситонного перехода в квантовых точках CdSe/ZnS от температуры

Эмиссионные и механические свойства углеродных бамбукоподобных нанотрубок во внешнем электростатическом поле

Колесникова Анна Сергеевна

Студентка

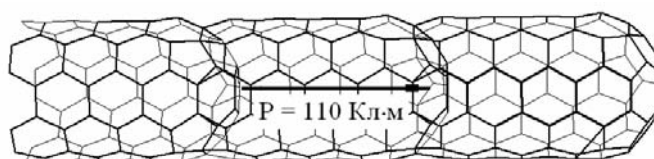
Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского, Саратов, Россия

E-mail: kolesnikova.88@mail.ru

Применение бамбукоподобных структур в качестве нанэмиттеров наравне с обычными нанотрубками стало возможным: экспериментальные исследования показали, что бамбукоподобные углеродные трубки (БУН) обладают хорошими эмиссионными свойствами, обеспечивая 120 mA/cm^2 при напряженности внешнего поля 16 В/мкм [1]. В связи с этим возникает необходимость изучения электронного строения и топологии каркаса БУН в сильных электрических полях.

На модифицированной модели сильной связи для углеродных нанокластеров [2] исследованы однослойные БУН с внутренними перемычками диаметром 0.7 нм и 1.37 нм (рисунок) и аналогичные бездефектные трубки в однородном электростатическом поле $3\text{--}10 \text{ В/нм}$ (направление силовых линий поля совпадает с осью нанотрубки). Получены следующие результаты: 1) модули Юнга и кручения БУН выше, чем у обычных трубок (модуль Юнга БУН (10,10) равен $2\div 3 \text{ ТПа}$, в то время как для трубок без перемычек – $\sim 1.3 \text{ ТПа}$), и растут с увеличением числа перемычек на единицу длины; 2) БУН растягиваются по действию пондеромоторной силы на $1\text{--}3 \%$, по сравнению с однослойными углеродными нанотрубками, (ОУН) у которых деформация заметнее: $2\text{--}7 \%$; 3) работы выхода БУН уменьшается на 0.05 эВ по сравнению с аналогичными ОУН; 4) поляризуемость БУН превышает поляризуемость ОУНТ в 1.5 раза; 5) диэлектрическая проницаемость БУН выше по сравнению с ОУНТ в 1.6 раза. В таблице приведены данные для БУН разных диаметров и с разным числом перемычек (двухсекционной – с одной перемычкой, трехсекционной – с двумя перемычками): погонная поляризуемость (на единицу длины), диэлектрическая проницаемость (относительная), погонная электрическая емкость. Все результаты получены для напряженности электростатического поля 3 В/нм . На рисунке показаны направление и величина дипольного момента БУН (5,5) для напряженности 3 В/нм . Полученные результаты позволяют заключить, что БУН могут служить не только источником электронов в автокатадах, но и основой композитного материала с высокой диэлектрической проницаемостью.

Параметры	Трех- секционная БУН (5,5)	Двух- секционная БУН (10,10)
диаметр	0,7 нм	1,37 нм
$\alpha_{zz}, \text{ нм}^2$	1,42	1,4
ϵ_r	301	330
$\epsilon, \text{ кмФ/нм}$	2,67	2,9



Трехсекционная бамбукоподобная нанотрубка (5,5) с указанием дипольного момента

1. Н.И.Синицын, Г.В.Торгашов, О.А.Терентьев, З.И.Буянова Углеродные нанотрубки с дефектами как элементы электронных устройств / Труды V российско-японского семинара «Оборудование, технологии и аналитические системы для материаловедения, микро- и наноэлектроники». Москва, 2007. Из-во МИСиС. Том 1. С.373-380.

2. Глухова О.Е., Жбанов А.И. Равновесное состояние нанокластеров C_{60} , C_{70} , C_{72} и локальные дефекты молекулярного остова // Физика твердого тела.–2003.– Т.45. – № 1.– С.180-186.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН П-03 «Квантовая Макрофизика» (Подпрограмма № 2 «Влияние атомно-кристаллической и электронной структуры на свойства конденсированных сред») и гранта РФФИ (проект № 07-02-00852а).

Исследование сходимости матрицы рассеяния одномерно-периодических фотонно-кристаллических слоев

Н.И.Комаревский¹, Н.А.Гиппиус^{1,2}, С.Г.Тиходеев^{1,2}

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва, Россия

E-mail: kolyankom@list.ru

Одним из наиболее эффективных методов расчета оптических спектров фотонно-кристаллических слоев является метод матрицы рассеяния [1,2]. Он позволяет рассчитывать, в зависимости от угла падения и длины волны света, коэффициенты отражения, пропускания и поглощения, а также распределение электромагнитного поля во всем пространстве. В методе матрицы рассеяния поле в каждом слое представляется в виде разложения по плоским волнам и решаются уравнения Максвелла. На основе полученных собственных значений в каждом слое строится матрица рассеяния всей структуры. Метод матрицы рассеяния был ранее успешно применен для исследования ряда периодических структур [3,4]. Одной из актуальных проблем данного метода остается не слишком хорошая сходимость, особенно в случаях с металлическими слоями.

В настоящей работе была исследована сходимость матрицы рассеяния в диэлектрических и металлических одномерно-периодических фотонно-кристаллических слоях. Используется тот факт, что в случае одномерно-периодического кристалла составляющие фотонно-кристаллический слой структуры (для которых в методе матрицы рассеяния нужно построить интерфейсные и сдвиговые матрицы), допускают точное решение для каждой фотонной моды по-отдельности. Это позволяет проверить сходимость метода матрицы рассеяния, а также предложить метод позволяющий улучшить сходимость.

Литература

- [1] Whittaker D.M., Culshaw I.S. *PRB* **60**, 2610 (1999).
- [2] S.G. Tikhodeev, A.L. Yablonskii, E.A. Muljarov, N.A. Gippius, and T. Ishihara, *Phys. Rev. B* **66**, 045102 (2002).
- [3] A. Christ, S.G. Tikhodeev, N.A.Gippius, J. Kuhl, H. Giessen, *Phys. Rev. Lett.* **91**, 183901 (2003).
- [4] Christ A., Zentgraf T., Tikhodeev S.G., Gippius N.A., Kuhl J. *PRB* **74**, 155435 (2006)

Упорядоченные золотые плазмонные частицы на кремниевой и золотой подложках, полученные методом наносферной литографии

Москаленко В.В., студентка

МГУ им. М.В. Ломоносова, E-mail: moskalenko@nanolab.phys.msu.ru

Наносферная литография - это простой и относительно быстрый способ получения нано- и микроструктур, упорядоченных на макроскопических масштабах [1]. В данной работе рассматривается метод наносферной литографии для формирования ансамбля упорядоченных золотых наночастиц на кремниевой и золотой подложках.

Первый шаг наносферной литографии - это получение монослоя полистироловых субмикро- или микросфер на кремниевой поверхности. Для этого используется раствор монодисперсных микросфер с добавлением небольшого количества поверхностно-активного вещества. Промежутки между микросферами в монослое имеют треугольную форму, размер которых определяется размером используемых полистироловых микросфер. В данной работе используются микросферы размером от 800 нм до 4 мкм. Изучены различные способы получения монослоя микросфер. Контроль качества и оценка упорядоченности монослоев производится с использованием пространственного Фурье-анализа, оптимизированного для данного случая.

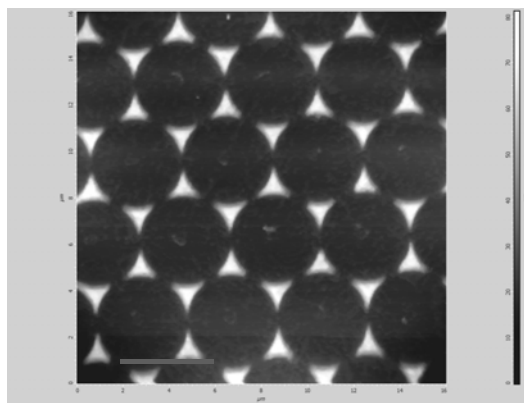


Рис.1 Изображение массива золотых наночастиц в гексагональной упаковке. Высота золотых остовов 55 нм после удаления микросфер. Масштаб 4 мкм.

Следующим шагом наносферной литографии является вакуумное напыление золотой пленки толщиной примерно 50 нм на кремниевую подложку. Далее полистироловые микросферы удаляются в спиртовом растворе под действием ультразвука. Была получена структура гексагонально упакованных упорядоченных треугольных золотых остовов. На рис.1 показано изображение массива наночастиц, полученное с помощью атомно-силового микроскопа. Характерный размер треугольника 600 нм, высота 55 нм, и расстояние между соседними треугольниками 300 нм, при использовании сфер размером 4 мкм.

Для формирования упорядоченных золотых наночастиц на золотой подложке, на поверхность кремния напыляется золотая плёнка толщиной 150-200 нм. Следующий шаг это создание монослоя полистироловых микросфер на золотой плёнке с использованием метода контролируемого испарения в конвективной ячейке [2]. Далее техника формирования плазмонных треугольников аналогична наносферной литографии для формирования структур на кремниевой поверхности. Результатом являются упорядоченные золотые наночастицы на золотой поверхности.

Литература

- [1]. J. C. Hultheen and R. P. Van Duyne, J. Vac. Sci. Technol. A 13(3), p.1553, 1995
- [2]. G. S. Lazarov, N. D. Denkov, O. D. Velev, P. A. Kralchevsky and K Nagayama, J. Chem. Soc. Faraday Trans., 90(14), p. 2077, 1994

Исследование возможностей атомно – силового микроскопа по созданию нанозлектродов

Паршинцев Александр Александрович

студент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E – mail: alexultra@list.ru

В настоящее время одной из глобальных задач электроники является создание электронных схем с большим количеством интегральных элементов. Для этого необходимо дальнейшее уменьшение размеров интегральных элементов. Создание молекулярного одноэлектронного транзистора (МОТ), работающего при комнатной температуре, позволит решить эту задачу. Тепловые шумы накладывают ограничение на размер зазора между электродами МОТ, ширина зазора должна составлять ~ 1 нм. [1] Изготовление такого зазора требует решения многих технических задач. С использованием метода стандартной литографии удастся создать зазоры шириной 100-200 нм. Поэтому для создания электродов с зазором ~ 1 нм. требуется использовать другие методы, такие, как электромиграция, электрохимическое осаждение и пр.

Для проведения процедуры электромиграции требуется создать заготовку, представляющую из себя короткую (порядка 30-40 нм) и тонкую (порядка 10 нм) перемычку между отн-но толстыми (пор-ка 50 нм) электродами [2]. Изготовление таких наноструктур представляет большую сложность в настоящее время, поэтому для этой задачи чрезвычайно актуален поиск способов создания таких наноструктур.

В настоящей работе предложен и исследован способ создания таких наноструктур с помощью атомно – силового микроскопа (АСМ) [3]. В ходе работы проведен ряд испытаний для изучения возможности непосредственного силового воздействия зонда на электроды – заготовки. Исследовалась возможность истончения толстого слоя электрода для проведения процедуры электромиграции. Работа проводилась на АСМ Solver P47 [3], с использованием зондов NSG10/Pt. Электроды были изготовлены из золота.

В результате удалось создать наноструктуры, в виде толстых электродов разделенных перемычкой толщины порядка 10 нм и длины порядка 30-40 нм, что по опыту проведения электромиграции достаточно для успешного изготовления зазоров ширины порядка 1-3 нм [2]. Материалы данной работы могут служить основой для создания заготовок для проведения процедуры электромиграции.

Литература

1. Драгунов В.Г., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. (2000) Основы нанoeлектроники Новосибирск: Изд – во НГТУ.
2. H. Park, A.K.L. Lim, A.P. Alivisatos. Fabrication of metallic electrodes with nanometer separation with electromigration, App. Phys. Letters, Vol. 35, N. 2, 1999
3. www.nt-mdt.ru (сайт фирмы – производителя АСМ Solver P47)

Критический индекс ν в малом низкомерном наномагнетика

*Санников Евгений Владимирович*⁸

сотрудник кафедры теоретической физики, кфмн

Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Россия

E-mail: bush99@yandex.ru

Введение

В последнее время внимание многих исследователей привлекают мезоскопические системы с пониженной размерностью, обладающие рядом полезных свойств и имеющие значительные перспективы применения в промышленности. Одной из таких систем являются малые низкомерные наномагнетики, интересные с точки зрения использования их в качестве магнитных носителей информации нового поколения.

Модель и методы

Для исследования низкоразмерных наномагнетиков была выбрана модель Изинга. Использовался метод статистического распределения Гиббса. Критический индекс корреляционной длины ν вычислялся по формуле

$$\xi \propto (T - T_c)^{-\nu},$$

где ξ – средняя по ансамблю длина самого длинного магнитного кластера (область, где сохраняется определенная упорядоченность в расположении спинов, $T_c=0$ для одномерной модели Изинга). В гамильтониане модели учтено взаимодействие первых и вторых соседей.

Результаты

Все результаты получены в компьютерном эксперименте. Для вычисления индекса ν была определена температурная критическая область размытия ФП на основе установленной зависимости $\xi(T)$. Из формулы следует, что ν явно не зависит от T . Поэтому, рассчитывая данный индекс вблизи критической области, мы ожидаем обнаружить некоторый участок (который и был обнаружен), где в среднем справедливо $\nu(T)=\text{const}$. Идея методики заключается в том, что именно этот участок целесообразно принять за «истинную» критическую область и на нём вычислять ν , при этом нет противоречий, так как в данной области ξ достаточно близко к N . При этом точку перегиба функции $\xi(T)$ можно считать границей критической области и в некотором диапазоне, содержащем такую точку рассчитывать ν . Оказалось, что данный участок содержит единственный максимум функции $\nu(T)$. Таким образом, можно сделать важный вывод, что максимум $\nu(T)$ определяет границу критической области и с его помощью можно более точно определить границу критической области магнитного фазового перехода, что даёт больше практической информации о том, в каком температурном интервале исследовать характеристики критической динамики в конечных одномерных наноманитных системах. Расчёты проводились на малых системах с размерами $N=8-10$ при разных значениях напряжённости поля и взаимодействия. Установлено, что среднее значение $\nu=0,27$. Практическое значение работы заключается в том, что в методе заложена возможность перебора всех возможных конфигураций, позволяющая абсолютно точно в рамках модели описать равновесно-статистическую картину. Для систем малых размеров в быстроте компьютерных расчётов обнаружен существенный выигрыш во времени по сравнению с методом Монте – Карло.

Литература

1. Камиллов И.К, Муртазаев Х.К, Алиев А.К. (1999) Исследование фазовых переходов и критических явлений методами Монте – Карло // УФН.– 1999.– Т. 169.– №7.- с. 773 – 795.

⁸ Автор выражает признательность профессору, д.ф.м.н. Удодову В.Н. за помощь в подготовке тезисов.

Определение типа проводимости в наноструктурах мезопористого кремния при адсорбции активных молекул.

Силаев Антон Александрович⁹

студент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет,
кафедра общей физики и молекулярной электроники, Москва, Россия

E-mail: vealis@pisem.net

В последние годы интенсивно исследуются физико-химические свойства пористого кремния (ПК), представляющего собой сеть пересекающихся кремниевых нитей нанометрического сечения [1], следствием чего является его развитая удельная поверхность порядка 10^3 м²/г [1]. Эта особенность приводит к высокой адсорбционной активности изучаемого материала, в результате чего внешняя среда активно воздействует на его электронные и оптические свойства. В частности, предполагалось, что адсорбция молекул аммиака (NH₃), обладающих донорными свойствами, может привести к изменению типа проводимости в пористом кремнии с дырочного на электронный [2]. Однако, прямых экспериментальных подтверждений этого факта в литературе нет. Решению данной проблемы посвящается наша работа.

Образцы пористого кремния были приготовлены стандартным методом электрохимического травления пластин кристаллического кремния [1] *p*-типа с исходным уровнем легирования примеси $2 \cdot 10^{19}$ см⁻³, ориентацией поверхности (100) и удельным сопротивлением 3-6 мОм·см. Электролит состоял из водного раствора плавиковой кислоты с добавлением спирта в следующих пропорциях: HF(48%):C₂H₅OH=1:1. Плотность тока составляла 50 мА/см², время травления 40 минут. После окончания процесса порообразования, мезопористый кремний отслаивался от подложки путем кратковременного увеличения плотности тока до 500 мА/см². Толщина полученных пленок мезопористого кремния составляла 80 мкм (оценивалась с помощью оптического микроскопа Metam PB-22). Выбор в качестве объекта исследования пленок мезопористого кремния обусловлен наличием в них относительно высокой концентрации носителей заряда и, как следствие этого, возможностью регистрировать влияние адсорбированных молекул на поглощение на свободных носителях заряда в таких образцах.

Измерения проводились на ИК спектрометре с обратным Фурье-преобразованием фирмы Bruker 66v/s (диапазон измерений 7500 - 400 см⁻¹, разрешение 2 см⁻¹). Напыление контактов на пленку производилось с помощью вакуумного поста ВУП5. Определение типа проводимости проводилось с помощью метода термоэдс.

Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод о типе проводимости в слоях мезопористого кремния при адсорбции активных молекул и уточнить модельные представления о механизме адсорбции.

Литература

1. A.G. Cullis, L.T. Canham, P.D.J. Calcott. J. Appl. Phys., 82, 909 (1997).
2. L. Boarino, C. Baratto, F. Geobaldo, G. Amato, E. Comini, A. M. Rossi, G. Faglia, G. Le'rondel, G. Sberveglieri. Material Sci. and Engin., B69-70, 210 (2000).

⁹Научный руководитель работы – доцент, кандидат физико-математических наук Павликов А.В.

Функциональные микросферы для создания магнитооптических плазмон-активных микроструктур

Томова Зулейхан Мухматовна

студентка

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: tomova@nanolab.phys.msu.ru

Интерес к магнитооптическим структурам обусловлен возможностью контролируемо управлять их оптическим откликом при наложении внешних полей. Помещение магнитооптического материала во внешнее поле позволяет наблюдать эффекты Фарадея и Керра, заключающихся в повороте плоскости поляризации падающего линейно-поляризованного излучения. Представляет интерес создание наноструктур, в которых будет присутствовать одновременно плазмонные и магнитооптические свойства. До сих пор является открытым вопрос о влиянии плазмонных резонансов на усиление магнитооптического отклика плазмон-активных наноструктур. В качестве таких структур может рассматриваться фотонный кристалл искусственного опала, состоящий из функциональных микросфер: частиц оксида кремния с нанесенными на поверхность слоями наносфер оксида железа и золотых наносфер. В настоящей работе предложен метод, позволяющий получить плазмон-активные частицы для создания магнито-фотонных наноструктур.

Метод создания функциональных частиц состоит из трех этапов:

1. На начальном этапе была отработана методика получения частиц оксида кремния. Синтез наносфер оксида кремния проводится методом Штобера [1], заключающимся в гидролизе тетраэтилового эфира кремниевой кислоты в водном растворе этилового спирта в присутствии аммиака. Синтез проводится при комнатной температуре, перемешивание раствора проводится при помощи магнитной мешалки. На начальном этапе синтеза образуются зародыши оксида кремния. В дальнейшем происходит равномерное увеличение слоя оксида кремния за счет быстрых скоростей перемешивания. Суспензии наносфер центрифугировались и промывались водой не менее 5 раз. В результате получены суспензии наносфер диаметром от 100 нм до 800 нм. Размер частиц определялся методом спектроскопии динамического светорассеяния. Исследована временная зависимость диаметра частиц. Показана слабая зависимость размера частиц от времени синтеза.
2. Для получения суспензии золотых наносфер используется метод, описанный в статье [2]. При воздействии солей лимонной кислоты на золотохлористоводородную кислоту в растворе образуются золотые сферы с диаметром от 10 до 20 нм. Для дальнейшего осаждения на поверхность наносферы диоксида кремния золотые сферы покрываются слоем аминопропилтриметоксисилана и диоксида кремния. При добавлении суспензии золотых сфер в водный раствор SiO_2 частиц при непрерывном перемешивании, происходит их осаждение на поверхность SiO_2 частицы, покрытой слоем полиэлектролита.
3. Для осаждения магнитных частиц, на поверхность SiO_2 частицы предварительно покрывают слоем полиэлектролита. Равномерное осаждение магнитных частиц на поверхность SiO_2 частицы происходит при непрерывном перемешивании за счет высоких скоростей перемешивания.

1. W.Stober, A. Fink, E.Bohn. *J.Colloid Interface Sci.*, 1968, **26**,62
2. B.V. Enustun, J.Turkevich *J.Am.Chem.Soc.* 1963, 85
3. Yihua Zhu, Hong Da, Xiaoling Yang, Ying Hu. *Colloids and Surfaces A*

Образование наночастиц железа в углеродной оболочке при механической активации и последующем отжиге смеси железа с аморфным углеродом

*Хенкин Лев Вадимович*¹⁰

студент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: Lev_ne@mail.ru

Наночастицы железа обладают высокой намагниченностью насыщения, делающей их удобными для применения в таких областях, как биосенсорика, контрастное вещество для ЯМР и других. Однако окисление наночастиц в условиях окружающей среды делает их применение невозможным. Инкапсулирование частиц железа в графитовом углероде – одно из возможных решений этой проблемы. Цель настоящего исследования - изучить изменения структурных, фазовых и морфологических характеристик смеси железа и аморфного углерода, подвергающейся механической обработке и последующему отжигу, что может привести в результате к инкапсуляции. В нашей работе механический размол проводился в течение 3-5 минут в высокоэнергетической шаровой мельнице AGO-4 планетарного типа. Затем отжиг образца проводился непосредственно в электронном микроскопе с использованием специального нагревающегося держателя.

Исследование структурных превращений проводилось методами электронной микроскопии высокого разрешения на микроскопе Jeol JEM 2000 FX II при ускоряющем напряжении 200 кВ и мессбауэровской спектроскопии. Мессбауэровские спектры были получены при температурах 300К в традиционной геометрии на пропускание гамма-излучения с использованием $Co^{57}(Rh)$ источника. Математическая обработка экспериментальных спектров проводилась с использованием программного обеспечения UNIVEM MS (2006), позволяющего моделировать спектры суперпозицией подспектров с лоренцевской формой линии при варьировании мессбауэровских параметров: эффективного магнитного поля, квадрупольного расщепления, ширины и интенсивностей линий, изомерного сдвига. Рентгендифракционные исследования проводились на θ -2 θ дифрактометре Rigaku-D/MAX-RC на $Cu-K\alpha$ излучении.

Электронная микроскопия образцов и данные мессбауэровской спектроскопии, полученные на разных этапах синтеза, показали, что взаимодействие в системе железо – аморфный углерод происходит путём формирования наноразмерных частиц железа (10-40 нм), а также карбидных наноразмерных частиц на их поверхности, в матрице аморфного углерода. Отжиг этих образцов приводит к разрушению наноразмерных карбидных фаз. При этом происходит кристаллизация аморфного углерода с образованием графитовой оболочки, а железо диффундирует внутрь оболочки, увеличивая тем самым размер наночастицы инкапсулированного железа (до 40-50 нм).

Таким образом формирование инкапсулированных наночастиц железа идёт по следующей схеме:

1) Смесь железа и аморфного углерода подвергается механической активации. В результате образуется смесь наночастиц железа (10-40нм) в оболочке Fe_3C и аморфного углерода.

2) После отжига 550-750 °С образуются наночастицы Fe (40-50 нм) в графитовой оболочке.

¹⁰ Автор выражает признательность профессору, д.ф.-м.н. Новаковой А.А. за помощь в подготовке тезисов.

Особенности электронного обмена при скользящем рассеянии ионов водорода H^+ на тонком металлическом диске алюминия

Шестаков Дмитрий Константинович, Гайнуллин Иван Камилевич

аспирант, ассистент кафедры физической электроники, к.ф.-м.н.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, физический факультет,

Москва, Россия

E-mail: dksh@rambler.ru

Введение

Одним из важнейших процессов, происходящих при взаимодействии атомной частицы с поверхностью твердого тела, является процесс электронного обмена.

При скользящих углах рассеяния электронный обмен атомной частицы с поверхностью твердого тела существенно зависит от величины параллельной поверхности составляющей скорости частицы $v_{||}$. Это объясняется тем, что в системе отсчета, связанной с частицей, движущейся параллельно поверхности, электронная структура твердого тела изменяется, что отражается на характере и интенсивности перезарядки. Такое влияние параллельной составляющей скорости частицы на ее электронный обмен с поверхностью твердого тела проявилось в экспериментах по нейтрализации щелочных ионов, а также по формированию ионов H^+ при их скользящем рассеянии на поверхности металла [1-3].

Постановка задачи и методика решения

Задача состоит в расчете зависимости вероятности формирования отрицательных ионов водорода от величины $v_{||}$ при скользящем рассеянии на тонком металлическом диске. В качестве физической модели рассматривали алюминиевый диск радиусом 50 ат. ед. (1 ат. ед. = $5.292 \cdot 10^{-11}$ м) и толщиной 15 ат. ед. (3 ML - три монослоя).

Расчеты производились с использованием метода Распространения Волновых Пактов (РВП) [4-6]. Его суть состоит в изучении изменения во времени волнового пакета электрона, участвующего в процессе электронного обмена, то есть в прямом решении на пространственно-временной сетке нестационарного уравнения Шредингера для внешнего электрона, находящегося в поле иона и тонкого металлического диска. При решении задачи следует учитывать, что энергия электрона в диске квантуется по двум координатам – нормальной и полярной. В первом приближении можно считать, что квантование энергии по одной из координат не зависит от квантования по другой координате [7].

Результаты

По результатам проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

- С увеличением $v_{||}$ вероятность формирования H^+ растет. Это можно объяснить тем, что при смещении “сферы” Ферми диска, вследствие относительного движения, появляются возможности резонансного захвата электрона с уровней, которые не являются резонансными в стационарном состоянии. При больших скоростях $v_{||}$ фракция H^+ уменьшается, что связано с уменьшением числа резонансов.
- Максимум рассчитанной зависимости вероятности формирования ионов H^+ для алюминиевого диска смещен относительно максимума зависимости для тонкой пленки в сторону больших скоростей $v_{||}$. Это объясняется тем, что максимально разрешенный уровень энергии диска находится ниже значения энергии Ферми в случае пленки.
- При скользящих углах рассеяния интенсивность выхода ионов H^+ в случае диска ниже, чем для пленки, т.к. вероятность формирования ионов чувствительна к эффективному “пути” захвата вдоль полярной координаты.

Литература

1. R. Brako, D. M. Newns, Rep. Prog. Phys. 52 (1989) 655
2. R. Zimny, H. Nienhaus, H. Winter, Rad. Eff. Def. Solids 109 (1989) 9
3. F. Wyputta, P. Zimny, H. Winter, Nucl. Instru. Methods B 58 (1991) 379
4. V. A. Ermoshin and A. K. Kazansky, Phys. Rev. A 218, 99 (1996)
5. A. G. Borisov, A. K. Kazansky and J. P. Gauyacq, Phys. Rev. 59 (1999) 10935
6. E. Yu. Usman, I. F. Urazgildin, A. G. Borisov, J. P. Gauyacq, Phys. Rev. B, 64 (2001) 205405
7. И. К. Гайнуллин, Д. Г. Горюнов, Е. Ю. Усман, И. Ф. Уразгильдин // Известия РАН, Серия Физическая, 2002, том. 66, № 7

Наноэтalon для калибровки зондовых и оптических профилометров

Яминский Д.И., Мезрин В.Е., Мешков Г.Б.

студент

МГУ им М.В. Ломоносова, Россия, Москва

e-mail: yaminsky@sinno.ru

Проблема метрологии сейчас является одной из самой важной тем нанотехнологий и наук о материалах. На данный момент не существует точных эталонов для калибровки приборов с разрешением в 1 нм и менее.

Известны следующие калибровочные модели: эталоны на основе атомных ступеней, дислокаций, дефектов; но из-за сложности их изготовления и нестабильности в реальной метрологии они использоваться не могут.

Материал, поляризованный пьезоэлектрически, используют для изготовления манипуляторов сканирующих зондовых микроскопов [1]. С помощью данного материала становится возможно перемещать объекты с точностью 0.01 нм и выше.

Разрабатываемый калибровочный эталон состоит из пластины, к двум противоположным концам которой подсоединено по электроду. На пластину подается напряжение постоянной амплитуды и полярности [2]. Пластина изготовлена из поляризованного пьезоэлектрического материала. По сути дела эталон представляет собой пластинку с периодически изменяемой во времени толщиной. Применение источника напряжения постоянной амплитуды, полярности и частоты позволяют сделать такие типичные погрешности пьезокерамических манипуляторов как гистерезис, крипп (ползучесть) и нелинейность детерминированными и неизменными во времени.

Для проведения калибровки измерительного прибора используется следующий метод: калибровочный эталон устанавливается в держатель образца. Прибор фиксируется на образце. Далее к пластине калибровочного эталона прикладывается электрическое напряжение постоянной амплитуды и полярности. Под действием электрического напряжения изменяется толщина эталона, которую регистрирует профилометр. Профилометр записывает положение зонда и перемещение образца. Получаемые измерения обусловлены перемещением поверхности эталона под действием приложенного напряжения на заданную величину.

Основные преимущества данного метода по сравнению с существующими:

1. Низкая погрешность измерений
2. Отсутствие зависимости измерений от величины прикладываемой силы со стороны зонда профилометра,
3. Возможность многократного использования эталона. Эталон легко поддается очистке от посторонних примесей и загрязнений. При этом механическое стирание поверхности не приводит к увеличению погрешности калибровки.
4. Возможность калибровки профилометра при проведении эксперимента.

Также калибровочный эталон можно использовать для проверки просвечивающих электронных микроскопов, перемещая исследуемый образец на заданное расстояние. Также его можно использовать для калибровки оптических микроскопов сверхвысокого разрешения, работающих за пределами дифракционного уширения.

Литература

1. Alliata D., Cecconi C., Nicolini C., A simple method for preparing calibration standards for the three working axes of scanning probe microscope piezo scanners - Rev. Sci. Instrum., 67 (3), 748-751, (1996)
2. Старение пьезокерамики системы ЦТС под действием электрических и механических напряжений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск. СГУПС. 2006 – 21 с.