Информационный бюллетень

перспективные технологии

наноструктуры сверхпроводники фуллерены

http://perst.issp.ras.ru

Том 15, выпуск 6

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Что скрывают ВТСП под своим "колпаком"?

При ферромагнитном фазовом переходе происходит спонтанное нарушение симметрии относительно обращения времени, и у образца (в отсутствие внешнего поля) появляется конечная намагниченность. Такой переход "беспорядок-порядок" имеет место при понижении температуры ниже точки Кюри ($T_{\rm C} = 770$ ⁰C для железа). Он представляет собой типичный пример "теплового" фазового перехода, обусловленного конкуренцией энтропийной и энергетической составляющих свободной энергии. В непосредственной окрестности $T_{\rm C}$ (в так называемой критической области) наблюдаются очень сильные флуктуации, опять же тепловые.

Квантовые фазовые переходы, в отличие от тепловых, происходят при T=0, когда изменяется какой-либо внешний "управляющий" параметр (давление, магнитное поле и пр.). Эти переходы относятся к типу "порядок-порядок": энтропия обоих состояний равна нулю, и все определяется их энергиями. Точку такого перехода (то есть соответствующую величину управляющего параметра) называют квантовой критической точкой (quantum critical point, QCP). В ее окрестности также имеются очень сильные флуктуации, но уже не тепловые, а квантовые. Эти флуктуации могут частично сохраняться и при конечных температурах. Соответствующая область на фазовой диаграмме называется квантовой критической областью (рис.1).



Рис.1 Фазовая диаграмма соединений с тяжелыми фермионами [1]. S/C – сверхпроводимость, QCP – квантовая критическая точка.

В дырочных ВТСП сверхпроводимость наблюдается при концентрации дырок (в расчете на атом меди) 0.05 . Соответствующая область на*p*-*T* $диаграмме имеет форму "колпака" (рис.2). Пока остается неясным, есть ли под этим "колпаком" QCP, и если есть – насколько велика область квантовых флуктуаций вокруг нее. Бытует мнение, что именно эти флуктуации не только являются "клеем", обеспечивающим спаривание носителей заряда и лежащим в основе высокотемпературной сверхпроводимости, но и определяют необычные свойства нормального состояния ВТСП (например, линейную вплоть до <math>T \sim 1000$ К температурную зависимость сопротивления). Анализ большого числа экспериментов [2]

31 марта 2008 г.

И далее ...

СПИНТРОНИКА

- 2 Баллистическое магнетосопротивление
- 2 Одномерный спиновый транзистор
- 3 Магниты для молекулярной спинтроники

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОМАТЕРИАЛЫ

3 Анизотропия дираковских фермионов в сверхрешетках из графена

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 4 Капиллярные явления на службе нанотехнологий
- 6 Получение и исследование ткани из окисленных графеновых слоев

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

7 Сканирующая спектроскопия отдельных примесных атомов в полупроводниках

конференции

XX Совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008)
13–19 октября 2008 года г. Гатчина, Россия

свидетельствует о том, что в разных системах ВТСП псевдощель обращается в нуль при критической величине $p_c = 0.19$ (рис.2). Возможно, это и есть QCP. Согласно данным работы [3], при температуре возникновения псевдощели Т* происходит резкий фазовый переход, то есть в псевдощелевом состоянии при $T > T^*$ присутствует какой-то "скрытый порядок". Как псевдощель связана с QCP, пока непонятно. QCP может иметь отношение и к недавно обнаруженному [4, 5] кардинальному изменению топологии поверхности Ферми в недодопированных ВТСП. Чтобы определить, какие электронные характеристики изменяются при переходе через QPC требуются новые эксперименты, в том числе при как можно более низких температурах и в сильных магнитных полях.



Рис.2 Фазовая диаграмма ВТСП в координатах «концентрация дырок – температура». АFM – антиферромагнетизм, S/C – сверхпроводимость, QCP – квантовая критическая точка.

- 1. P.Gegenwart et al., Nature Phys. 4, 186 (2008).
- 2. J.L.Tallon, J.W.Loram, Physica C 349, 53 (2001).
- 3. J.Xia et al., <u>http://arxiv.org/abs/0711.2494</u> (2007).
- 4. N.Doiron-Leyraud et al., Nature 447, 565 (2007).
- 5. C.Jaudet et al., <u>http://arxiv.org/abs/0711.</u>3559 (2007).

СПИНТРОНИКА

Баллистическое магнетосопротивление

В обзорной статье Дудина и Вирэ [1] рассматриваются различные экспериментальные возможности формирования баллистических магнитных наноконтактов вплоть до одного атома в контакте. Обычно стартуют с изготовления сужения, а дальше его утончают. Для этого можно механически растягивать контакт, изгибая подложку, либо проводить травление, либо использовать электромиграцию при пропускании тока. В процессе постоянно измеряют сопротивление контакта, по величине которого и определяют степень утончения.

Упомянуты и теоретические исследования. Современные компьютеры позволяют производить расчет различных контактов (рис. 1) из первых принципов. Авторы отмечают, что магнитные свойства материала наноконтакта могут резко отличаться от объемных. Так, в объемном железе в ферромагнитном состоянии на поверхности Ферми все электроны спин-поляризованы. В одномерной цепочке атомов железа на Ферми-поверхности оказалось 7 долин, из которых 6 поляризованы в одном направлении, а одна – в противоположном. В таком контакте не может быть полной спиновой поляризации.



Рис. 1. Различные конфигурации атомных контактов, используемые в расчетах.

В.Вьюрков

1. B.Doudin and M.Viret. J. Phys.: Condens. Matter 20, 083201 (2008).

Одномерный спиновый транзистор

Сотрудники Universität Göttingen (Германия) [1] продолжили теоретические исследования протекания спин-поляризованного тока по квантовой нити, начатые чешскими учеными [2] в 2003 году. Эволюция спина в квантовой нити, которая «вырезана» из двумерного электронного газа, обусловлена спинорбитальным взаимодействием Рашбы. Это взаимодействие очень популярно в спинтронике ввиду того, что оно очень сильное. Возникает оно при рассмотрении многозонной модели полупроводника. Существенен учет взаимодействия зоны проводимости и валентной зоны, поэтому этот эффект наилучшим образом проявляется в узкозонных полупроводниках, например, в материалах группы А₃В₅. Величина энергетического спин-орбитального расщепления в них достигает нескольких мэВ. Если вычислить энергию спин-орбитального взаимодействия по обычным формулам, рассматривая электроны и дырки как независимые квазичастицы, то получится на 5 порядков меньшая величина.



Рис. Закон дисперсии с учетом спин-орбитального взаимодействия в различных частях канала с потенциальной ступенькой (а) и барьером (б). Красная кривая (штриховая) соответствует спину вверх, синяя (сплошная) кривая – спину вниз.

На рисунке представлен закон дисперсии электронов (зависимость энергии от продольного волнового вектора) с учетом спин-орбитального взаимодействия. Он становится непараболическим. Важным обстоятельством является возникновение щели. Именно ее авторы предлагают использовать для

получения спин-поляризованного тока. На рис. 1 представлена ситуация, когда уровень Ферми попадает в эту щель. В этом случае потенциальную ступеньку могут проходить только электроны с определенной спиновой поляризацией. Отметим, что электроны вблизи уровня Ферми осуществляют проводимость. Еще интереснее случай с потенциальным барьером. Через него может течь спиновый ток, когда электронный ток равен нулю. Поскольку и ступенька, и барьер могут быть сформированы потенциалом затвора, вот вам и управление спиновым транспортом в канале транзистора.

В.Вьюрков

- 1. J.E.Birkholz, V.Meden. J. Phys.: Condens. Matter 20, 085226 (2008).
- 2. P.Streda, P.Seba. Phys. Rev. Lett. **90**, 256601 (2003).

Магниты для молекулярной спинтроники

Путь от фундаментальных исследований до первых работающих приборов спинтроника прошла за рекордно короткий (даже для науки 21-го века) срок – около 10 лет. Информация, закодированная в спины электронов, сохраняется и после выключения устройства; для обработки этой информации не требуются магнитные поля, а для ее записи достаточно мизерных затрат энергии. Это – лишь некоторые преимущества спинтроники перед обычной электроникой. В настоящее время основной акцент делается на изучение возможности замены металлов (как компонентов спинтронных устройств) на полупроводники и диэлектрики. Последние уже сейчас используются в транзисторах и светодиодах (молекулярная электроника).

На базе концепций и достижений молекулярной электроники и спинтроники зарождается новое направление – молекулярная спинтроника, основным элементом которой станут, как предполагается, магнитные молекулы или, другими словами, "одномолекульные магниты" (single-molecule magnets, SMM). Они, несмотря на малые размеры, близки по характеристикам к объемным магнитным материалам. SMM привлекательны также для хранения информации с очень высокой плотностью и, благодаря большим временам декогерентизации – для квантовых вычислений. В обзоре [1] обсуждаются перспективы использования SMM в молекулярной спинтронике, приведены результаты последних экспериментальных и теоретических работ по этой тематике, описаны конструкции некоторых устройств на основе SMM (см. рис.). Огромное количество магнитных молекул, которые можно найти в химической литературе, представляют собой (пока еще не исследованный) ресурс молекулярной спинтроники. В качестве SMM могут быть использованы и фуллерены с внедренными в них магнитными атомами.



Молекулярный транзистор на основе одномолекульного магнита

1. L.Bogani, W.Wernsdorfer, Nature Mater. 7, 179 (2008).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОМАТЕРИАЛЫ

Анизотропия дираковских фермионов в сверхрешетках из графена

Линейный изотропный закон дисперсии квазичастиц в графене (рис.1а) делает графен уникальным объектом, как для исследования необычных физических явлений, так и для разработки новых электронных устройств. Но с чисто технологической точки зрения не так-то просто "вырезать" или "вытравить" из графена наноструктуры надлежащей формы и размера. В работе теоретиков из США и Южной Кореи [1] показано, что, прикладывая к графену периодический потенциал, можно изготовить одномерные (рис.1b) и двумерные (рис.1c) сверхрешетки с очень сильной анизотропией электрических свойств в двух взаимно перпендикулярных (и параллельных поверхности) направлениях. Более того, в одном из этих направлений групповая скорость носителей заряда может даже обращаться в нуль (как это имеет место, например, в одномерной сверхрешетке с L = 10 нм, w = 5 нм и высотой барьеров $U \approx 0.7$ эВ (рис.1b)). Таким образом, открывается возможность "неразрушающего изготовления" графеновых нанолент. Помимо анизотропной перенормировки скорости, ширина запрещенной зоны в сверхрешетках из графена тоже оказывается анизотропной. Все эти вместе взятые анизотропии приводят к резкому изменению топологии поверхности Ферми при изменении уровня Ферми (то есть концентрации носителей), что позволяет управлять различными физическими характеристиками графена, такими как теплоемкость, проводимость, магнитосопротивление и пр. Авторы [1] показали, что все полученные ими результаты нечувствительны к конкретному виду периодического потенциала и остаются справедливыми, например, для потенциалов синусоидального и гауссова типов. Теперь дело за экспериментом.



Рис.1 (а) Слева – фрагмент графена и его зона Бриллюэна с двумя неэквивалентными дираковскими точками (K и K'); справа – закон дисперсии вблизи одной из дираковских точек.

(b) Слева – одномерная сверхрешетка в графене, образованная периодическим вдоль оси x потенциалом типа Кронига-Пенни (L – период, w – ширина барьеров); справа – закон дисперсии вблизи одной из дираковских точек (в направлении оси x групповая скорость частицы остается неизменной, а в направлении оси y – уменьшается).

(с) Слева – двумерная сверхрешетка в графене, образованная потенциалом ячеистого типа ("muffin-tin"), периодическим в направлениях x и y с периодами L_x и L_y соответственно (диски диаметром d играют роль барьеров); справа – закон дисперсии вблизи одной из дираковских точек.

Л.Опенов

1. C.-H.Park et al., Nature Phys. 4, 213 (2008).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ Капиллярные явления на службе нанотехнологий

Использование процессов самоорганизации и самосборки является особенностью современных нанотехнологий. Один из распространенных вариантов этого естественного способа создания наноматериалов реализуется при участии жидкостей. В его основе – молекулярные взаимодействия, более конкретно – силы поверхностного натяжения и связанные с ними капиллярные явления. Применяя разнообразные приемы и акцентируя внимание на поведении нанотрубок при увлажнении-высыхании, авторы ряда работ [1-3] продемонстрировали возможность получения из массивов углеродных нанотрубок уникальных материалов, перспективных для широкого применения.

Методы выращивания массивов углеродных нанотрубок (УНТ) на подложках теперь хорошо известны. Обычно используется химическое газофазное осаждение (CVD) в присутствии катализаторов. Могут быть получены массивы плотно упакованных нанотрубок – так называемые маты; массивы вертикально ориентированных углеродных нанотрубок на подложках - «лес» нанотрубок. Американские ученые [1] проводили эксперименты на массивах УНТ высотой от 20 мкм до 1 мм, синтезированных при помощи двух типов Fe-катализаторов. В одном случае 5-нанометровую пленку Fe наносили непосредственно на кремниевую пластину, а в другом – 1-нанометровую пленку Fe на буферный слой Al₂O₃ толщиной 10 нм (в обоих случаях на пластине имелся 1-микрометровый слой SiO₂). Диапазон диаметров индивидуальных нанотрубок 10-15 нм.

Синтезированные массивы УНТ сначала помещали в раствор этанола, а затем сушили при комнатной температуре. При высыхании (испарении) под действием капиллярных сил формировалась новая структура. В массиве, синтезированном на катализаторе 5нмFe/SiO₂, происходило компактирование УНТ и их реорганизация в ячейки. Типичная структура показана на рис.1а. Высота стенок ячеек примерно равна высоте исходного массива (50 мкм). Светлые области в центре ячеек при увеличении (рис.1b) оказались подложкой без нанотрубок, а более темные образованы нанотрубками, лежащими на подложке и ориентированными по направлению к стенкам ячейки.



Рис.1. (а) SEM-изображение ячеистой структуры, сформировавшейся при высыхании массива УНТ высотой 50 мкм, синтезированного на 5нмFe/SiO₂; (b) увеличенное изображение «дна» ячейки. Видно, что образование ячеистой структуры сопровождается коллапсом и небольшим сдвигом корней УНТ к стенкам ячейки.

Для массивов высотой 1 мм, синтезированных на катализаторе с буферным слоем, картина резко меняется. При высыхании УНТ сдвигаются на подложке на несколько сотен микрон и образуют отдельные плотные островки (рис.2). Среднее расстояние между островками около 700 мкм; на под-

ложке нет лежащих нанотрубок (в отличие от образца, показанного на рис.1).



Рис.2. Структура, сформировавшаяся при высыхании массива УНТ высотой 1 мм, синтезированного на 1нмFe/Al₂O₃/SiO₂. (а) островки соединены прядями УНТ, образовавшимися при их сдвиге и разделении; (b) увеличенное изображение края отдельного островка. Видно, что на подложке нет лежащих нанотрубок.

Результаты экспериментов показывают, что на формирование новой структуры влияют два фактора: величина капиллярных сил, действующих в массиве, и сила сцепления корней УНТ с подложкой. Смачивание плотных массивов, в которых расстояние между отдельными нанотрубками мало (от 10 до 100 нм), приводит к возникновению сильного капиллярного притяжения. Однако адгезия массива УНТ к подложке для образца на рис.1 также довольно сильная, поэтому основная часть нанотрубок остается закрепленной на подложке. При использовании катализатора с 1-нанометровой пленкой Fe и буферным слоем адгезия слабая, и капиллярные силы могут полностью оторвать нанотрубки от подложки, что приводит к самосборке материала, состоящего из отдельных островков.

Японские ученые [2] представили общий метод получения нового материала («SWNT solid» - так они его назвали) из плотно упакованных ориентированных одностенных УНТ (ОСНТ). Очень важно, что массивный материал сохраняет свойства индивидуальных ОСНТ – высокую удельную поверхность, гибкость, электропроводность. Ему можно придавать разные формы, диапазон перспективных применений очень велик. Авторы демонстрируют, в частности, его использование для гибких нагревателей и электродов для суперконденсаторов без какого-либо связующего.

Метод основан на уплотнении леса ОСНТ под действием жидкости, то есть также используется капиллярное притяжение. Важное отличие этой работы – использование длинных (миллиметры) вертикальных ОСНТ, часть которых легко снять с подложки как единое целое. Полученный материал однородно уплотнен и может иметь заданные формы. Исходный лес нанотрубок имеет плотность 0,03 г/см³, при этом 97% составляет пустое пространство. Средний диаметр нанотрубки 2,8 нм. Стягивание происходит в два этапа – при увлажнении и испарении. Авторы проводили эксперименты, используя воду, спирты, ацетон, диметилформамид, жидкий азот, олеиновую кислоту, различные машинные масла и др. Эти эксперименты подтвердили, что метод является универсальным. На рис. 3 показан плотный материал, полученный в результате внесения капли воды в центр образца размером 1x1 см. Если никак не контролировать процесс, область контакта стягивается в плотный материал, состоящий из нанотрубок, которые исходно присутствовали в пустой области (рис.3а). После увлажнения под действием капиллярного притяжения лес сократился по горизонтали на 20%, а после высыхания – в 4,5 раза в двух горизонтальных направлениях. Высота не изменилась. Таким образом, плотность повысилась примерно в 20 раз. Твердость выросла в 70 раз, а высокая удельная поверхность сохранилась (такая же, как у исходного образца примерно 1000 м²/г).

Для того чтобы получить равномерное уплотнение материала, авторы предварительно снимали как единое целое «участок» леса нанотрубок с подложки и погружали в жидкость. В полученном плотном материале все нанотрубки остались неповрежденными. С помощью гидростатического давления этого достичь авторам не удалось.

Контроль над параметрами, влияющими на коллапс, (аспектное число для леса нанотрубок, начальная точка контакта с жидкостью, сила взаимодействия нанотрубок с подложкой) позволяет получать уникальные структуры, имеющие различные формы. Среди образцов, представленных авторами, - стержни, иглы, пластины, «микровулканы» (рис. 3с).





Рис.3. *SEM*–изображение (а) и схема (b) уплотнения леса ориентированных ОСНТ под действием одной капли жидкости, (c) – «микровулкан» до и после коллапса (показана шкала 250 мкм).

Отличие работы исследователей из Сингапура и США [3] заключается в том, что контролируемое формирование структуры обеспечивается предварительным введением в маты плотноупакованных УНТ внутренних пустот различной конфигурации. Эти круглые или продолговатые микроотверстия работают как центры «высыхания».

В экспериментах были использованы массивы нанотрубок, синтезированные на разных катализаторах. Один из образцов состоял из многостенных УНТ диаметром 30-40 нм и высотой от 9 до 200 мкм в зависимости от времени роста. Он был получен с использованием Fe-катализатора на Si пластине с Al - промежуточным слоем. При нанесении этого Al-слоя образовывались микрочастицы, на которых в процессе *CVD* нанотрубки не росли. Таким образом, в образце формировались цилиндрические поры диаметром примерно 3 мкм (рис. 4а).

Каплю (10 мкл) жидкости наносили сверху на маты УНТ (использовали водные растворы с добавлением ПАВ). На поверхности формировалась тонкая жидкая пленка, которая потом высыхала на воздухе. Таким образом, этот подход отличается еще и тем, что УНТ не погружаются полностью в жидкость. Процесс самоорганизации авторы [3] рассматривают так: сначала образуются сухие зоны вокруг микроотверстий - центров «высыхания», нанотрубки силами поверхностного натяжения отталкиваются от этих центров, сжимаются в промежутках между микроотверстиями, формируя гребни. Отверстия перестают увеличиваться. Если отверстия имеют круглое сечение, формируется ячеистая структура, или «гнезда», если отверстия продолговатые, формируются структура из канавок.



Рис.4. (а) 12 мкм массив УНТ с внутренними микроотверстиями (вид сверху); (b) увеличенное изображение микроотверстия; (c) микрочастица алюминия, полученная при напылении подслоя; (d) сформировавшаяся ячеистая структура; (e) в центре ячеек (или «гнезд») видны яркие точки – микрочастицы Al.

Авторы также доказали, что контролируемое формирование структур с использованием «микроотверстий» возможно только при наличии жидкой пленки на поверхности. Они выделили в массиве УНТ высотой 130 мкм квадрат, подрезали в нем с помощью лазера УНТ до 100 мкм, затем, оставив вокруг квадрата дамбу из неподрезанных УНТ, подрезали остальную область также до 100 мкм. Пленка жидкости, распространившаяся по поверхности квадратного участка, не могла преодолеть высокую «дамбу», и во внешнюю область жидкость проникала только через внутренние промежутки в дамбе. Хотя микроотверстия на двух участках были одинаковы, формирование соответствующих структур произошло только в пределах квадратного участка, на поверхности которого была пленка жидкости.

О.Алексеева

- 1. Q. Li et al. Nanotechnology 17 (2006) 4533
- 2. D. N. Futaba. Nature Materials 5 (2006) 987
- 3. X. Huang et al. Nanotechnology 18 (2007) 305301

Получение и исследование ткани из окисленных графеновых слоев

Одно из достижений последнего времени в области двумерных углеродных структур связано с открытием возможности выделения графенов, представляющих собой отдельные слои графита. Помимо фундаментального интереса к этому новому объекту, многими исследователями высказываются надежды на перспективы его практического использования. В первую очередь это связано с сочетанием высокой механической прочности с необычными электронными характеристиками. Для реализации этих перспектив необходимо обеспечить химическую стабильность графенов, обладающих высокой химической активностью из-за большого количества некомпенсированных связей по границе графитового слоя. Один из способов повышения стабильности состоит в частичном окислении графенов, т.е. в присоединении к граничным атомам углерода атомов кислорода. Недавно группе исследователей из университета Иллинойс (США) удалось не только выделить окисленные графены, но и получить из них бумагоподобные листы толщиной свыше 5 мкм. Окисление графенов, поперечные размеры которых составляют порядка 1 мкм, производили в результате ультразвуковой обработки 20 мг водной суспензии при концентрации 3 мг/мл. Полученный коллоидный раствор пропускали через мембранный фильтр диаметром 47 мм и с размером пор 0,2 мкм. Образцы полученного таким образом бумагоподобного материала разрезали с помощью лезвия бритвы на прямоугольные полоски размером 5x30 мм для дальнейшего исследования. Исследования, выполненные методом рентгеновской дифрактометрии, показали, что расстояние между графеновыми слоями в бумагоподобном материале составляет около 0,83 нм.

Результаты механических испытаний материала указывают на его повышенные прочностные характеристики. Так, величина удельной энергии растяжения, приводящего к разрушению материала, достигает 350 кДж/м³, что примерно на порядок превышает соответствующую величину для графитовой ленты и бумагоподобных слоев из углеродных нанотрубок. Модуль растяжения бумагоподобного

слоя из окисленных графенов составил в среднем величину 32 ГПа, что также значительно превышает соответствующий показатель для макроскопических материалов и углеродных нанотрубок. Механические испытания показали, что исследуемый материал проявляет способность к повышению примерно на 20% модуля упругости при каждом нагрузочно-разгрузочном цикле. Такое поведение типично для полимеров, состоящих их продольных структурных образований, и, связано с выстраиванием графеновых слоев в направлении приложения нагрузки.

Подобно обычной бумаге, бумагоподобный графеновый материал повышает свои механические характеристики в после удаления воды. Так, в результате термической обработки при температуре до 120° С, приведшей к удалению остатков воды, модуль упругости материала возрос примерно в полтора раза.

Отмечается возможность использования нового материала, синтезированного на основе окисленных графенов, в качестве мембран с регулируемой проницаемостью, анизотропных ионных проводников, суперконденсаторов, а также материалов для хранения различных веществ. Наряду с этим, имеются перспективы его использования в качестве присадки для повышения прочностных качеств полимеров и композитных материалов.

А.В.Елецкий 1. D.A.Dikin et al. Nature **448**, 457 (2007).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ Сканирующая спектроскопия отдельных

примесных атомов в полупроводниках

Неизовалентные примесные атомы вводят в полупроводники намеренно, с целью изменения электронных и оптических характеристик. Концентрация таких примесей, как правило, очень низкая, поэтому их количество в полупроводниковых приборах с размерами ~ 10 нм можно буквально пересчитать по пальцам. А в литературе уже обсуждаются физические принципы и конструкция устройств на основе всего одной-двух примесей. Спиновые и/или зарядовые состояния доноров предполагается, в частности, использовать для организации работы твердотельных квантовых компьютеров. Все это требует разработки методов определения электронных и магнитных характеристик отдельных примесных атомов, а также способов контроля их месторасположения в образце.

Американские физики из Michigan State University и Bell Laboratories (США) разработали локальную методику "сканирующей одноэлектронной емкостной спектроскопии", которая позволила им исследовать спектры зарядки индивидуальных доноров Si в гетероструктурах GaAs/AlGaAs. Согласно этой методике, двумерный электронный газ (2DEG), расположенный параллельно слою Al_{0.3}Ga_{0.7}As (в котором хаотически распределены доноры Si), играет роль одной из обкладок конденсатора, а функцию второй "обкладки" выполняет металлическая игла сканирующего туннельного микроскопа (СТМ), соединенная с чувствительным датчиком заряда, (см. рис.).



Схематическая иллюстрация методики, использованной в работе [1] для "зондирования" отдельных доноров Si в $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$.

Если игла СТМ находится непосредственно над одним из доноров, то переменное напряжение, приложенное к 2DEG, индуцирует резонансные осцилляции заряда между донором и 2DEG, что приводит к появлению на игле "заряда изображения" и соответствующему увеличению емкости. В работе [1] при сканировании вдоль поверхности наблюдались как узкие пики емкости, появляющиеся при прохождении иглы над отдельными донорами, так и широкие пики, происхождение которых авторы связывают с "двухдонорными молекулами". Спектр зарядки таких "молекул" в [1] определен впервые. Предложенная в [1] методика может быть использована, в том числе, для исследования влияния статического электрического поля на энергетический спектр взаимодействующих донорных атомов. Недостатком этой методики является потребность в сверхнизких (милликельвинных) температурах и высокой чувствительности СТМ (~ 0.01 $e\Gamma\mu^{-1/2}$), что на сегодняшний день могут себе позволить лишь несколько лабораторий в мире.

Л.Опенов

1. I.Kuljanishvili et al., Nature Phys. 4, 227 (2008).

конференции

XX Совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), 13



ния (РНИКС-2008), 13–19 октября 2008 года г. Гатчина, Россия

Тематика:

- кристаллическая структура и элементарные возбуждения
- магнетизм
- некристаллические материалы
- наноматериалы
- фармакология и биология
- материаловедение и прикладные исследования
- методика и техника нейтронного эксперимента
- фундаментальные свойства нейтрона

Контрольные даты:

20.04.2008 - окончание приема регистрационных форм и краткой аннотации доклада

16.05.2008 - второе информационное сообщение

01.06.2008 - окончание приема тезисов докладов

15.09.2008 - третье сообщение с Программой Совещания

Контакты:

Манинен Ирина Вячеславовна: e-mail: <u>maninen@pnpi.spb.ru</u>, тел. / факс (81371) 4-62-60 Web: <u>http://rno.pnpi.spb.ru/infoconf.php</u>

III Международная конференция «Фундаментальные проблемы высокотемпературной сверхпроводимости» (ФПС'08), 13 - 17 октября 2008 г.

г. Звенигород, Московская область, Россия

Тематика:

 механизмы высокотемпературной сверхпроводимости

- физические свойства ВТСП-материалов и структур
- новые сверхпроводники и родственные материалы
- применения высокотемпературных сверх-проводников

Контрольные даты:

20 июня 2008 г - регистрация и резервирование проживания

20 июня 2008г - представление текстов докладов 1 июля 2008г - уведомление о принятии докладов 10 июля 2008г - уплата оргвзноса и регистрация

Контакты:

Крайская Клавдия Васильевна:

тел./факс: +7(499) 135-2320

e-mail: org-fps08@sci.lebedev.ru

Web: <u>http://fps08.lebedev.ru</u>

Школа – семинар «Наноструктуры, модели, анализ и управление» посвященная юбилею научно-педагогической деятельности академика В. П. Маслова,

7 - 10 апреля 2008 г., Москва, МИЭМ

Тематика:

- наносистемы, наноматериалы, инструментальные средства
- математическое моделирование наносистем
- информационное обеспечение и подготовка кадров для наноиндустрии

e-mail: nano-2008@miem.edu.ru

Web: http://www.miem.edu.ru/conf/nano/2008

Экспресс-бюллетень ПерсТ издается совместной информационной группой ИФТТ РАН и РНЦ «Курчатовский институт»

Ответственный редактор: И.Чугуева, e-mail: <u>irina@issp.ras.ru</u> Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин В подготовке выпуска принимали участие: О.Алексеева, В.Вьюрков, А.В.Елецкий, Л.Опенов Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64