

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Сверхпроводимость диэлектрика в электрическом поле

В современной полупроводниковой промышленности широко используется методика управления концентрацией носителей тока в структуре металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) с помощью электрического поля. Преимущество этого способа перед обычным “химическим легированием” связано с отсутствием атомного беспорядка, обусловленного хаотическим расположением примесных атомов. Известны также эксперименты по индуцированию сверхпроводимости полем в металле. А вот перевести таким образом диэлектрик в сверхпроводящее состояние пока ни у кого не получалось. В работе [1] японской группы из Tohoku University была предпринята попытка индуцировать сверхпроводимость в SrTiO₃. Из этого материала часто изготавливают подложки для пленок купратных ВТСП, сам он типичный диэлектрик, хотя и становится сверхпроводником при химическом легировании. Попытка удалась. Увеличение поверхностной концентрации носителей в двухслойной МДП-структуре на основе SrTiO₃ (рис. 1) от нуля до 10¹⁴ см⁻² при $V = 3.5$ В привело к возникновению сверхпроводимости с $T_c = 0.4$ К (рис. 2).

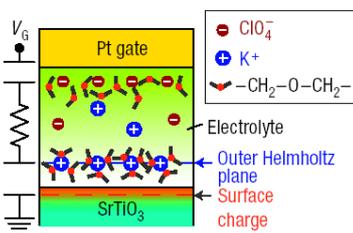


Рис.1. Схематическое изображение МДП-структуры со слоем SrTiO₃.

Заметим, что такую же величину T_c имеют объемные монокристаллы SrTiO₃ с оптимальной концентрацией легирующих примесей [2]. Увеличение магнитного поля до критического значения приводило, как и положено,

к исчезновению сверхпроводимости. Ширина резистивного перехода составила около 0.5 К. Теперь интересно таким же образом поэкспериментировать и с другими диэлектриками, а также – с сильно недолепированными диэлектрическими составами купратных ВТСП и несверхпроводящими оксидными соединениями.

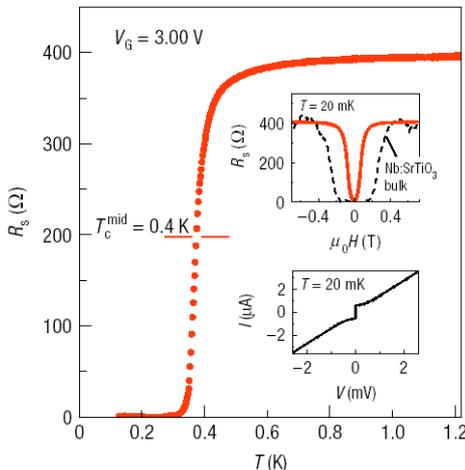


Рис.2. Резистивный сверхпроводящий переход в SrTiO₃ при напряжении смещения $V = 3$ В. На вставках: зависимость сопротивления от магнитного поля (вверху) и ВАХ (внизу) при $T = 0.02$ К.

Л.Опенев

И далее ...

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 2 Маргинальная ферми-жидкость в ZrZn₂

Куда смотрит спин?

СПИНТРОНИКА

- 3 Эффект Доплера. Теперь спиновый...

МАГНИТЫ

- 3 Магнитоэлектрические композиты на жидких кристаллах

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 4 Дефекты в нанотрубках

Газовый сенсор на основе графена

- 5 Как растут нанотрубки

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

- 6 Нанотехнологии – это мираж?

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

- 7 Графен ищет применение

КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 International Conference on Physics, Chemistry and Application of Nanostructures "Nanomeeting 2009", 26-29 May 2009, Minsk, Belarus

International Symposium on Inhomogeneous and Strongly Correlated Functional Materials (ISCFM), March 28 - April 2, 2009, Miami - Western Caribbean

1. K.Ueno et al., Nature Mater. 7, 855 (2008).

2. J.F.Schooley et al., Phys. Rev. Lett. 14, 305 (1965).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Маргинальная ферми-жидкость в $ZrZn_2$

В течение последних 50 лет основой для описания влияния межэлектронных взаимодействий на низкотемпературные характеристики металлов служила теория ферми-жидкости Ландау, согласно которой (даже при сильном взаимодействии между электронами) возбуждения электронной подсистемы в металле могут быть описаны в терминах слабо взаимодействующих друг с другом квазичастиц. Каждую квазичастицу можно представить себе как электрон, “одетый шубой” из других электронов (рис. 1а). Концепция ферми-жидкости применима не только к металлам, но и к другим системам сильно взаимодействующих фермионов, например, к жидкому ^3He (для которого, собственно, она и была изначально предложена), атомным ядрам, нейтронным звездам и т.п. Однако описание в терминах квазичастиц возможно лишь в том случае, когда время их жизни τ достаточно велико и можно говорить о наличии в системе таких “частицеподобных сущностей”. Так как величина τ определяется главным образом взаимодействием квазичастиц между собой, то при понижении температуры она возрастает из-за уменьшения количества квазичастиц и при $T \rightarrow 0$ стремится к бесконечности как $\tau \sim 1/T^2$.

Но в последние годы исследователи все чаще и чаще сталкиваются с материалами, для которых теория ферми-жидкости не работает [1]. Качественно понятно, что это связано с увеличением взаимодействия между квазичастицами (или, другими словами, – с усилением их рассеяния друг на друге). Однако остается неясным, какое состояние приходит на смену ферми-жидкости, и как его описывать? Если не квазичастицы, то что? В этой связи большой интерес представляют системы, находящиеся “на границе” между ферми-жидкостью и не ферми-жидкостью. Электронное состояние таких систем называют “маргинальной ферми-жидкостью” (от английского *marginal* – находящийся на краю чего-либо). Теоретически это состояние было предсказано довольно давно, но найти материалы, в которых оно было бы четко выражено, долго не получалось. Между тем всесторонние экспериментальные исследования таких материалов очень важны, поскольку могут способствовать разработке новых теоретических подходов к их описанию. Ведь если удастся окончательно разобраться с маргинальной ферми-жидкостью, то можно будет вплотную заняться и гораздо более сложными не ферми-жидкостными системами.

В работе [2] физики из Великобритании и Японии сообщили о наблюдении четких признаков маргинальной ферми-жидкости в “почти ферромагнитном” металле $ZrZn_2$. Они показали, в частности, что температурная зависимость удельного сопротивления при низкой температуре имеет вид: $\rho(T) \sim T^{5/3}$ – в полном соответствии с теорией маргинальной

ферми-жидкости (тогда как $\rho(T) \sim T^2$ для обычной ферми-жидкости). Интересным результатом работы [2] стало обнаружение сильного влияния давления P на $\rho(T)$ вблизи “критического” давления P_c , при котором ферромагнетизм полностью исчезает. Повышение P выше P_c приводит к смене зависимости $\rho(T) \sim T^{5/3}$ на зависимость $\rho(T) \sim T^{3/2}$. Теория в ее современном виде пока не может это объяснить. Дальнейшее развитие концепции маргинальной ферми-жидкости представляет интерес не только для твердотельных систем (в том числе – купратных ВТСП), но и, например, для релятивистской плазмы и ядерного вещества.

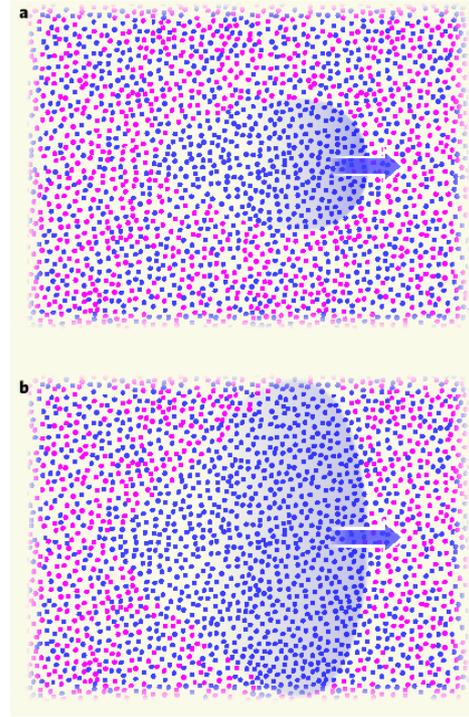


Рис.1. Квазичастицы в обычной и маргинальной ферми-жидкости.

а) В обычной ферми-жидкости каждая частица окружена “поляризационным облаком” из других частиц,двигающихся вместе с этой частицей. Такое образование частица + облако можно рассматривать как квазичастицу. Последняя слабо взаимодействует с другими такими же облаками-квазичастицами. Синие и красные точки отвечают электронам с различными ориентациями спина (“вверх”-“вниз”). Здесь рассматривается металл, близкий к ферромагнитному состоянию.

б) В маргинальной ферми-жидкости “облако” вокруг частицы так сильно размыто, что композитное образование частица + облако уже нельзя рассматривать как единый объект (квазичастицу).

1. G.R.Stewart et al., *Rev. Mod. Phys.* **73**, 797 (2001).

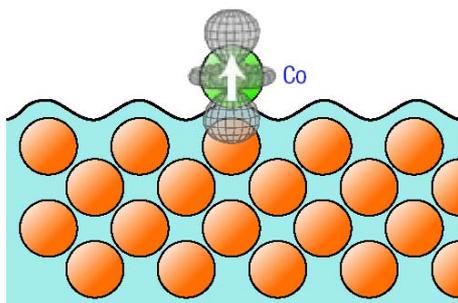
2. R.P.Smith et al., *Nature* **455**, 1220 (2008).

Куда смотрит спин?

Важнейшей характеристикой любого магнитного вещества, на которой основана возможность его практического использования, является величина так называемой магнитной анизотропии, определяющая ориентацию намагниченности и препятствующая ее случайному изменению. В макроскопических образцах магнитная анизотропия обуслов-

лена взаимодействием магнитных моментов (спинов) большого числа атомов с их твердотельным окружением, в общем случае анизотропным. При уменьшении размера магнита направление его намагниченности становится все более чувствительным к влиянию окружения и к тепловым флуктуациям. В предельном случае “атомного магнита” (спина магнитного атома на поверхности твердого тела) ориентация спина определяется, в том числе, и взаимодействием электронов этого атома с электронами атомов подложки.

В работе [1] магнитные свойства единичного атома Co со спином $S = 3/2$, адсорбированного на покрытой тонким слоем нитрида медной поверхности (см. рисунок), исследованы методом низкотемпературной сканирующей туннельной микроскопии. Было установлено, что даже при $T = 0.5$ К спин изменяет свою ориентацию (“переворачивается”) очень часто, примерно каждые 3 пикосекунды. Это связано с кондо-взаимодействием между спином и электронами подложки и говорит, в частности, о том, что такие атомы не годятся на роль “магнитных битов”. Авторы [1] обсуждают возможность контроля кондо-экранирования путем изменения локального окружения экранируемого спина.



Магнитная анизотропия единичного атома, адсорбированного на поверхности твердого тела, определяется перекрытием его электронных орбиталей с орбиталями электронов близлежащих атомов подложки. Характер этого взаимодействия влияет на направление спина атома посредством спин-орбитального взаимодействия.

1. A.F.Otte et al., *Nature Phys.* 4, 847 (2008).

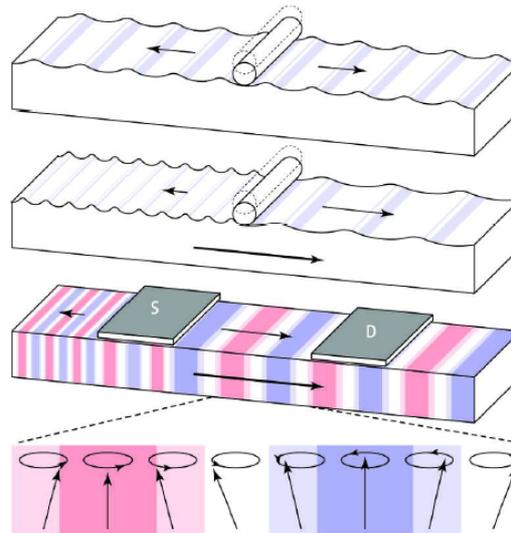
СПИНТРОНИКА

Эффект Доплера. Теперь спиновый...

Быстро прогрессирующая спинтроника будет основана не на зарядовых (как обычная электроника), а на спиновых токах. Одно из преимуществ спинтроники состоит в том, что энергия, требующаяся для изменения ориентации спинов, гораздо меньше той, которая затрачивается на включение и выключение зарядового тока [1]. Спиновый ток можно организовать, например, пропуская электроны через ферромагнитную пленку: электроны со спинами, параллельными спинам атомов пленки, пройдут через нее с большей вероятностью, чем электроны с противоположно направленными спинами. Проблема, однако, состоит в том, как обнаружить и измерить спиновый ток.

ПерсТ, 2008, том 15, выпуск 22

В работе [2] предложен оригинальный способ измерения спиновых токов. Он основан на эффекте Доплера. Последний заключается в изменении длины регистрируемой приемником волны либо при движении приемника относительно источника, либо при неподвижных источнике и приемнике, но движении самой среды, в которой распространяются волны (см. рис.). Обычно этот эффект иллюстрируют (и используют) на примере звуковых и световых волн. Авторы [2] применили его к спиновым волнам в присутствии спинового тока. Возможность количественного определения силы спинового тока выводит экспериментальную спинтронику на новый качественный уровень.



Эффект Доплера.

Вверху: В неподвижной воде волны от колеблющегося цилиндра распространяются в обе стороны с частотой, задаваемой частотой колебаний цилиндра, и длиной, определяющейся этой частотой и свойствами воды.

В центре: В движущейся (по направлению большой стрелки) воде волны распространяются с такой же частотой, но в направлении движения воды их длина больше, а в обратном направлении – меньше, чем в покоящейся воде. Скорость течения можно определить по изменению длины волны.

Внизу: Спиновые волны имеют разную длину в направлении протекания спинового тока (большая стрелка) и против него. S – источник спиновых волн, D – детектор.

1. I.Zutic et al., *Rev. Mod. Phys.* 76, 323 (2004).

2. V.Vlaminck, M.Bailleul, *Science* 322, 410 (2008).

МАГНИТЫ

Магнитоэлектрические композиты на жидких кристаллах

В прошлом номере мы рассказали, как электронной бумаге можно придать магнитные свойства [1]. Идею «омагнитить» основу другого типа дисплеев - жидкие кристаллы - предложили тайваньские ученые [2].

Они добавили магнитные наностержни в нематический жидкий кристалл (диаметр стержней 6 нм, длина 50 нм, концентрация 10^{13} см⁻³), создав, таким

образом, композитный материал, сочетающий в себе свойства жидкого кристалла и магнитной среды.

Одним из самых характерных свойств жидкого кристалла является эффект Фредерикса – поляризация молекул в электрическом поле и ориентация вдоль него. На этом эффекте основана работа жидкокристаллических мониторов: при переориентации молекул меняются оптические свойства среды и, как следствие, цвет жидкокристаллической ячейки (в простейшей версии жидкокристаллических дисплеев – с серебристого на черный). Это свойство было использовано учеными для того, чтобы достичь эффекта управления намагниченностью композита с помощью электрического поля: магнитные наностержни в жидкокристаллической среде ориентируются вдоль направления молекул жидкого кристалла и поворачиваются вместе с ними в электрическом поле (рис.1).

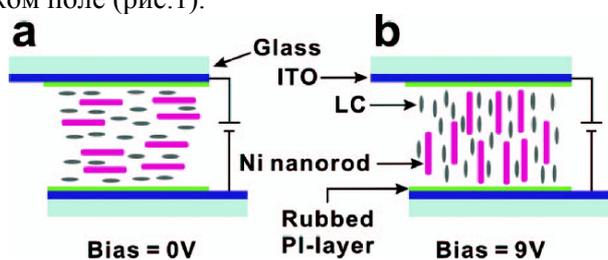


Рис. 1. Жидкий кристалл с магнитными включениями в виде наностержней [2]: а - ориентация молекул жидкого кристалла и наностержней в отсутствие поля, б - ориентация молекул и наностержней при включении электрического напряжения 9В (зазор между пластинами 8 мкм). Обозначения: Glass – стекло, ITO – прозрачные электроды из оксида индия-олова, LC – молекулы жидких кристаллов, Ni nanorods — магнитные наностержни, rubbed PI-layer – слой из полиимида, отполированный в определенном направлении, чтобы ориентировать молекулы жидкого кристалла, Bias – электрическое поле смещения.

Стоит отметить, что в отличие от частиц электронной бумаги, время поворота которых составляло величины порядка секунды, молекулы жидкого кристалла гораздо живее реагируют на электрическое поле. В результате частота переключения намагниченности в жидкокристаллическом композите составляет кГц, что намного перспективнее для практических приложений, хотя, конечно, ограничения, связанные с инерционностью вращательного движения и вязкостью среды, не позволяют говорить об использовании такого материала в вычислительной технике.

А. Пятаков

1. А. Пятаков, *Перст* 15, вып. 21, стр.6 (2008).
2. Tsung-Ju Lin et al, *Appl. Phys. Lett.* 93, 013108 (2008).

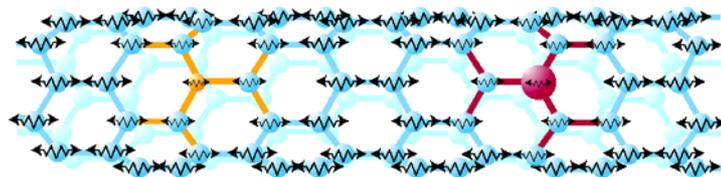
ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Дефекты в нанотрубках

Допирование полупроводников электронами или дырками – необходимый этап при изготовлении функциональных электронных устройств. Обычно допирование осуществляют путем замещения части

атомов исходного материала на атомы элементов с большей или меньшей валентностью (так называемое “химическое допирование”). На наномасштабе для допирования можно также использовать эффект переноса заряда с адатомов, химически или физически сорбированных на поверхности (при этом арсенал возможных допирующих элементов существенно расширяется, но усложняется задача контроля уровня допирования).

Так как углеродные нанотрубки являются перспективными материалами для использования в различных наноустройствах (например, спинтронных), их нужно научиться соответствующим образом допировать (характер и тип допирования определяется конкретным применением нанотрубки). А для этого крайне необходимы надежные методики контроля концентрации и распределения примесей и дефектов в наноструктурах. В работе [1] предложен способ регистрации примесных атомов в нанотрубках с помощью рамановской спектроскопии. Как показано в [1], дефекты приводят к появлению в рамановских спектрах дополнительных пиков, положение которых зависит от знака заряда примеси. Характер изменения спектров дефектных нанотрубок обусловлен сложной комбинацией локальных изменений как в решеточной подсистеме (фононы), так и в электронной (см. рис.). В принципе эта методика может быть использована не только для нанотрубок, но и для других наноструктур. В сочетании с постоянно совершенствующимися способами изготовления нанобъектов она знаменует собой еще один шаг к “практической нанотехнологии”.



В углеродной нанотрубке как донорные, так и акцепторные примесные атомы (красные и желтые кружки, соответственно) делают решетку локально более жесткой. Кроме того, скорость Ферми увеличивается вблизи дефектов *n*-типа и уменьшается вблизи дефектов *p*-типа.

Л.Опенев

1. I.O.Maciel et al., *Nature Mater.* 7, 878 (2008).

Газовый сенсор на основе графена

Открытые недавно двумерные углеродные структуры (графены), представляющие собой участок графитовой плоскости площадью несколько мкм, привлекают все возрастающее внимание исследователей. Подобно углеродным нанотрубкам (УНТ), графены обладают необычными электронными характеристиками, что открывает возможность их использования в широкой области приложений. В частности, зависимость электронных характеристик графенов от природы и концентрации молекул, сорбированных на их поверхности, позволяет говорить о возможности создания на основе графенов

нового типа газовых сенсоров. Эту возможность детально исследует группа ученых из Пекинского университета (Китай) [1] с использованием численных методов. В качестве объекта исследования авторы использовали узкие графеновые полоски, электронные свойства которых во многих отношениях аналогичны УНТ, однако, в отличие от последних, графены обладают множеством атомов углерода со свободными связями. Это делает графены восприимчивыми к присутствию структурных дефектов и примесей и открывает возможность осуществления химической модификации графенов. Другим отличием графенов от УНТ является то, что графены «кресельной» структуры, у кото-

рых ось полоски совпадает с направлением большой диагонали шестиугольника, образующего графен, обладают полупроводниковыми свойствами, а графены структурой типа «зигзаг», у которых ось полоски перпендикулярна большой диагонали, обладают металлическими свойствами. Расчеты электронной структуры графенов с сорбированными молекулами различного сорта были выполнены методом функционала плотности в приближении спин-поляризованного обобщенного градиента. В табл. 1 приведены рассчитанные величины энергии адсорбции и передаваемого заряда, вычисленные для различных молекул, сорбированных поверхностью графеновой полоски с кресельной структурой.

Табл. 1. Значения величины адсорбции E_a передаваемого заряда для различных молекул, сорбированных поверхностью графеновой полоски с кресельной структурой. Положительный знак передаваемого заряда означает, что заряд передается от молекулы к поверхности графена.

Молекула	CO	NO	NO ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	NH ₃
E_a , эВ	1,34	2,29	2,70	1,88	-0,24	0,31	0,18
Δq	-0,30	-0,55	-0,53	-0,78		-0,41	0,27

Расчеты показывают, что все молекулы, кроме азота, характеризуются достаточно высокой энергией сорбции по отношению к поверхности графена и могут эффективно сорбироваться этими структурами при комнатной температуре. При этом в случае молекул CO₂ и NH₃ механизм сорбции занимает промежуточное положение между слабой химической и сильной физической сорбцией, в то время как для остальных молекул имеет место сильная хемосорбция. Расчеты электронных характеристик графенов с сорбированными молекулами показывают, в частности, что в результате сорбции молекул CO и NO в зонной структуре графена образуются примесные уровни, что приводит к уменьшению ширины запрещенной зоны и соответствующему изменению спектра поглощения графена. Поглощение NO₂ практически не изменяет зонную структуру графена, в то время как в случае поглощения O₂ и CO₂ изменение электронных характеристик происходит лишь при достаточно большом числе поглощенных молекул. Результатом поглощения NH₃ является переход графена от состояния с полупроводниковой проводимостью к состоянию с металлической проводимостью. Таким образом, выявленное в результате расчетов различие в характере влияния поглощения различных молекул на электронные характеристики графенов указывает на возможность разработки газовых сенсоров на основе графенов. Отличительной особенностью таких сенсоров будет сочетание миниатюрных размеров с высокой чувствительностью по отношению к количеству сорбируемых молекул.

А.Елецкий

1. B.Huang et al., *J. Phys. Chem. C* **112**, 13442 (2008).

Как растут нанотрубки

Как известно, наиболее эффективный и широко распространенный способ синтеза углеродных нанотрубок (УНТ) основан на химическом осаждении паров (CVD), при котором рост УНТ происходит в результате термokatалитического разложения углеродосодержащих соединений в присутствии наночастиц металлического катализатора, нагретых до температуры порядка 1000 К. Однако до сих пор не существует единого мнения по вопросу о механизме роста УНТ. Согласно одной из концепций («базовый» механизм), нанотрубка, одним своим концом прикрепленная к подложке, отрастает за счет процессов, происходящих вблизи ее основания в присутствии наночастицы катализатора. По другой гипотезе («вершинный» механизм) нанотрубка растет в результате присоединения атомов углерода к ее вершине, так что частица катализатора в процессе роста находится на вершине УНТ. Обе гипотезы подкреплены соответствующими экспериментальными данными, однако до сих пор не ясно, при каких конкретно условиях реализуется тот или иной механизм роста УНТ. Некоторой ясности в этом вопросе удалось достичь недавно группе исследователей из университетов Парижа и Нанта, которые обнаружили, что преобладание того или иного механизма роста УНТ зависит от их диаметра. Нанотрубки синтезировали методом плазменного CVD в камере электронного циклотронного резонанса. В качестве катализатора использовали пленки Co, Ni или Fe (толщиной 1 или > 8 нм), напыленные на подложку Si покрытую слоем SiO₂ толщиной 500 нм методом осаждения паров. В результате вакуумного отжига пленок при T = 700°C на подложке образовывались островки металла нанометровых раз-

меров, которые служили катализатором роста УНТ. При этом в случае тонких пленок (1 нм) характерный размер частиц составлял около 5 нм, в то время как отжиг толстых пленок (> 8 нм) приводил к образованию частиц с размерами в диапазоне от 5 до 100 нм. Однослойные и многослойные УНТ выращивали в плазме, содержащей ацетилен, аммиак и водорода в соотношении 1:4:23 при температуре 700°C , полном давлении газа $2,5 \times 10^{-3}$ Торр и подводимой к плазме СВЧ мощности 250 Вт. Полученные образцы нанотрубок исследовали с помощью сканирующего и просвечивающего электронных микроскопов. Эти исследования показали, что, независимо от типа используемого катализатора, диаметр синтезируемых УНТ определяется толщиной каталитического слоя. Так, при использовании толстого (> 8 нм) слоя катализатора образуются многослойные УНТ диаметром более 15 нм. На вершинах этих нанотрубок присутствуют частицы металлического катализатора, что указывает на вершинный механизм роста таких УНТ. Использование тонкого каталитического слоя приводит к образованию однослойных либо тонких многослойных УНТ диаметром менее 5 нм. На вершинах этих УНТ не наблюдаются частицы катализатора, что указывает на базовый механизм их образования. Тем самым оказывается, что механизм роста УНТ существенно зависит от их диаметра, и при изменении диаметра нанотрубок от нескольких нм до нескольких десятков нм происходит изменение механизма от базового к вершинному.

А.Елецкий

1. *A.Gohiera et al., Carbon 46, 1331 (2008).*

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Нанотехнологии – это мираж?

Такой видит сегодня нанотехнологию Dr. Adolfo Gutierrez, руководитель небольшой частной компании Bricks Research, занимающейся физическими и биологическими исследованиями в интересах производства (Troy, New York, США). Вопреки всеобщему мнению, что нанотехнология – это новая наука, открывающая новые горизонты, Dr. Gutierrez видит в этом термине лишь раскручиваемый рыночный бренд, а не область, в которой ведутся достоверные и последовательные научные исследования [1].

Каждый физик, химик, биохимик, материаловед и другие исследователи во все времена (по крайней мере, со времен Аристотеля) имели дело с маломасштабной наукой. Убеждение, что атомами можно манипулировать, тоже не ново – химический синтез тому доказательство. Да, конечно, сейчас можно наблюдать и наглядно представлять атомы лучше, чем прежде. Возможно, как раз это и стало причиной возбуждения, царящего вот уже 10 лет на «нанорынке». К сожалению, промышленное производство нанопроизведений значительно сложнее и дороже, чем показательные демонстрации в лабораториях.

Dr. Gutierrez был одним из первых создателей микро- и наноэлектромеханических систем (MEMS и NEMS) и разработал уникальные методы и приборы тестирования. В 1993 г. он ввел в обиход термин «лаборатория-на-кристалле», занимаясь микро- и нанотехнологиями, разработал несколько электронных наноприборов, однако всегда неохотно называл эти занятия как что-то наномасштабное, т.к. размер – это абстракция. С точки зрения физики размер не обладает обособленным смыслом, важны лишь соответствующие физические эффекты.

Большинство традиционных дисциплин не придают важности масштабу размеров структур, а только их функциональным возможностям. Например, исследователь, работающий с клетками и с транспортными процессами в них, никогда не называл себя нанобиологом: он функциональный микробиолог, биолог, исследующий клеточные структуры, или биохимик.

За 10 лет своего существования-развития, поглотив более 30 млрд. долл., выделенных с 1999 г. на исследования и разработки (R&D), нанотехнология оказалась не в состоянии производить массовые изделия. Мир все еще ждет функциональных прорывов, изделий и доходов. Естественно, что частное (не государственное) финансирование на нанотехнологии сокращается.

Компания Intel уже не обозначает малую электронику как «наноэлектронику», усматривая в этом термине убицу своих будущих изделий, которые будут разрабатываться в течение следующих 100 лет. Интересно, что эта компания все еще лидер в нано R&D. IBM, напротив, поддерживает термин «наноэлектроника», регулярно сообщая о своих достижениях-прорывах, что довольно неожиданно при ее относительно небольшом бюджете на наноисследования. Lucent-Alcatel вот уже на протяжении 18 месяцев сообщает о своих нанопрорывах с частотой, сравнимой с IBM, хотя сейчас ее основное исследовательское подразделение Bell Labs официально не занимается фундаментальными исследованиями, а ее опытный полупроводниковый завод закрыт. Компания не может загрузить результатами своих исследований свои производственные линии.

Если бренд «нано» теряет свое прежнее значение, нужно ли сосредоточить внимание на функциональных достижениях, а не на масштабах? Исследователи, подобные Dr. Gutierrez, предпочли бы более плотно заняться проблемами корпусирования, компоновки, сборки, новейших межсоединений, архитектуры и оптимизации компьютерных программ. Эти проблемы не менее важны для сохранения функционального закона Мура, чем наномасштабирование, но без приставки «нано» все труднее добиться их финансирования.

К слову, эта публикация вызвала поток комментариев читателей, согласных и несогласных с Dr. Gutierrez'ом.

Другой аспект нанопроблемы затронут на сайте <http://www.semiconductor.net/>, в одной из публикаций которого подвергается сомнению полезность самого деления технологий на «высокие» и «низкие» [2]. В этой связи весьма показательна карта ночной Африки и Европы, снятая со спутника. Если считать степень электрификации важным признаком развитой цивилизации, то очевидна огромная гуманитарная задача, стоящая перед человечеством, – сближение африканской (в частности) и европейской цивилизаций. При взгляде на этот снимок невольно приходишь к мысли, нужно ли всем и все бросать в нано, может стоит не выплескивать технологии, которые многие из нас разрабатывали ранее, которые видятся сейчас, как «ушедшие» и «низкие».



Фото Африки и Европы, сделанное ночью со спутника [2]: отчетлива разница между их электрификацией (пусть не смущает вас жемчужная береговая линия северного побережья Африки – здесь отдыхают европейцы!).

Как считает автор [2], 1,5 кВт фотовольтаический генератор в неэлектрифицированных районах, какими полным-полна Африка, может, например, обеспечить автономное освещение дома, питание небольшой автономной пекарни, функционирование ирригационной системы (работу насоса) в засушливой зоне. И таким образом технология фундаментально изменит социальный статус людей, живущих вдали от развитой цивилизации. В сегодняшней, несколько новой ситуации, когда правительства на «Семерках», «Восьмерках» и «Двадцатках» декларируют гуманитарные устремления, благородной целью использования технологий (будут ли они «высокими» или «низкими») станет улучшение жизни очень большой части человечества, лишенной основных ресурсов и возможностей.

1. <http://www.semiconductor.net/blog/920000492/post/1430033343.html>

ПерсТ, 2008, том 15, выпуск 22

2. <http://www.semiconductor.net/blog/920000492/post/1870036587.html>

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

Графен ищет применение



В середине ноября в очаровательном японском городе Айзу-Вакамацу, раскинувшемся посреди живописной долины, окруженной горами, которые застилают Японию от суровых сибирских ветров, состоялся международный симпозиум по приборам на графене (International Symposium on Graphene Devices [1]).

В симпозиуме приняли участие известные специалисты из Америки, Европы и Японии. Из России были В. Волков (ИРЭ РАН) и В. Вьюрков (ФТИ-АН). Гораздо больше бывших российских ученых представляло другие страны: В. Рыжий (сопредседатель симпозиума, Aizu University, Япония), К. Новоселов (University of Manchester, Англия), А. Баландин (University of California, США), В. Митин (University of Buffalo, США), О. Воскобойников (National Chiao Tung University, Тайвань), Н. Кирова (Universite Paris-Sud, Франция). Естественно, большинство участников являлось сотрудниками японских центров, в которых всегда уделялось повышенное внимание к перспективным исследованиям.

Высокая представительность форума позволила понять современные достижения в физике и технологии графена, а также увидеть перспективы его практического применения.

Графен (монослой углерода) является новым и очень необычным материалом. Во-первых, он обладает удивительной зонной структурой: отсутствует запрещенная зона, присутствует полная симметрия между электронами и дырками, которые к тому же имеют нулевую массу. Во-вторых, спин-орбитальное взаимодействие в графене тоже очень необычно. Кроме того, графен является природным двумерным газом. Благодаря высокой подвижности носителей впервые удалось наблюдать квантовый эффект Холла при комнатной температуре. Конечно, графен – это очень увлекательный объект для теоретиков и экспериментаторов. Однако большая часть докладов была, прежде всего, нацелена на практические применения, что свойственно современной науке.

Придет ли графен на смену кремнию? Этот вопрос был главным при обсуждении итогов конференции. Большим достижением последнего времени является эпитаксиальное выращивание слоев графена. До этого применялось осаждение хлопьев графена на подложку, что, конечно, не имело перспектив практического использования в технологии микроэлектроники. Теперь об этом можно вести разговор. Ближайшим конкурентом полевому транзистору на графене является кремниевый полевой транзистор с тонким слоем кремния. International Roadmap on Semiconduc-

tors именно в этом типе транзисторов видит будущее микроэлектроники вплоть до 2020 года. Обладая высокой подвижностью ($10\,000\text{ см}^2/\text{В с}$) и скоростью носителей (10^8 см/с) полевой транзистор на графене потенциально может в 10 раз превзойти кремниевый по быстродействию. Однако отсутствие запрещенной зоны не позволяет такому транзистору иметь достаточно малый ток в закрытом состоянии, чтобы его можно было использовать в сверхбольших интегральных схемах. Именно это обстоятельство вызвало интерес к двойным слоям и узким (10 нм и меньше) слоям графена (nanoribbons). В них появляется запрещенная зона, но она все же меньше, чем у кремния. Как известно, минимальный размер транзистора определяется именно шириной запрещенной зоны. Длина канала кремниевого полевого транзистора ограничена 5-10 нанометрами. При меньшей длине наступает прямое туннелирование между истоком и стоком, транзистор перестает попросту закрываться. Таким образом, в этом направлении графен вряд ли придет на смену кремнию.

Возможно, графен получит совсем другие применения. Например, он обладает исключительно высокой теплопроводностью и может служить теплоотводом в современных интегральных схемах, в которых разогрев уже давно является серьезной проблемой. На основе графена могут быть созданы высокочувствительные фотоприемники. Плазменные волны в графене открывают перспективы создания источников и приемников терагерцового диапазона. Особое поведение спина в графене может привести к созданию новых приборов спинтроники.

Как бы то ни было, главный показатель практического интереса к графену выражается в мощном финансировании этих исследований в мире.

В.Вьюрков

1. <http://www.otsuji.riec.tohoku.ac.jp/CREST/ISGD/?page=home>

КОНФЕРЕНЦИИ

International Conference on Physics, Chemistry and Application of Nanostructures "Nanomeeting 2009", May 26-29, 2009, Minsk, Belarus

The following traditional areas are covered:

- physics of nanostructures
- chemistry of nanostructures
- nanotechnology
- spintronics
- quantum computing
- bioinformatics
- nanosize optical and electronic devices.

Deadline for abstracts - **15 December 2008**

More details and contacts:

<http://www.nanomeeting.org>

e-mail: nanomeeting@nanomeeting.org

International Symposium on Inhomogeneous and Strongly Correlated Functional Materials (ISCFM), March 28 - April 2, 2009, Miami - Western Caribbean (on the cruise ship)

Topics:

- Intrinsic structure of functional materials and microscopic electronic inhomogeneities;
- Cuprate perovskites and other short coherence length superconductors;
- New iron-based superconducting materials;
- Ferroelectrics, colossal magnetoresistive materials, nickelates, and other oxide perovskites;
- Graphite-like inhomogeneous structures;
- Carbon based functional materials;
- Multiband functional materials;
- Control and manipulation of different phases and functions in the inhomogeneous materials by external conditions;
- Artificial heterostructures and low dimensional systems;
- Advanced characterization methods for inhomogeneous materials.

Deadline for abstracts: 15 December 2008

Contacts: Prof. Naurang L. Saini, Symposium Chair, naurang.saini@roma1.infn.it

The symposium is a part of the meeting "Study of Matter at Extreme Conditions" (SMEC 2009), being held on the cruise ship during March 28- April 2, 2009. The information on the SMEC 2009 is available at the web site: <http://hipssa.org/smec2009>

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

Ответственный редактор: И.Чугуева, e-mail: irina@issp.ras.ru

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие: В.Вьюрков, А.Елецкий, Л.Опенев, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64^а