

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Высокотемпературные сверхпроводники помогут заполнить "терагерцовую щель"?

В современной науке и технике для генерации электромагнитного излучения используют либо переменные токи в полупроводниковых устройствах, либо переходы электронов между квантованными уровнями энергии в твердотельных лазерах. Частота излучения при этом ограничена как сверху (из-за конечной скорости электронов в полупроводниках она не может быть больше ≈ 0.5 ТГц), так и снизу (из-за термических эффектов не удается изготовить лазер с частотой менее ≈ 2 ТГц). Предложено много различных способов, как заполнить так называемую "терагерцовую щель" ($0.5 \div 2$ ТГц), но до практической реализации дело так и не дошло. Одним из кандидатов в терагерцовые излучатели являются джозефсоновские контакты, которые представляют собой два сверхпроводника, разделенных тонким диэлектрическим барьером. Если к контакту приложить постоянное напряжение, то через него потечет переменный ток (нестационарный эффект Джозефсона), который является источником излучения с частотой ~ 1 ТГц. Но для практических целей мощность излучения от одного отдельно взятого джозефсоновского контакта очень мала (менее 1 нВт). Чтобы ее повысить, нужно научиться синхронизировать осцилляции тока сразу в большом количестве контактов. Если каждый контакт изготавливать "вручную", то эта задача трудно осуществима с чисто технологической точки зрения. Однако можно попробовать вместо искусственных джозефсоновских контактов использовать естественные – созданные самой Природой в слоистых высокотемпературных сверхпроводниках (ВТСП) (см. рис.).

В работе [1] группа ученых из США, Японии и Турции сообщила о регистрации непрерывного когерентного излучения с частотой до 0.85 ТГц от образца ВТСП $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ толщиной ≈ 1 мкм и поперечными размерами ≈ 100 мкм при напряжении на нем ≈ 1 В. Мощность излучения, измеренная с помощью болометра, составила 0.5 мкВт – на 4-5 порядков (!) больше, чем в предыдущих экспериментах с ВТСП, где использовались образцы существенно меньших размеров. Для синхронизации излучения разных контактов (число которых превысило 500) был использован тот же эффект, что и в лазерах: границы образца играли роль отражающих стенок резонатора, способствуя формированию макроскопического когерентного состояния. В отличие от других работ по терагерцовому излучению в ВТСП, развитая методика не требует наличия внешнего магнитного поля. Генерация излучения имеет место вплоть до $T \approx 50\text{K}$, а оценка максимальной мощности использованного в работе устройства дает ≈ 20 мкВт. Так как мощность излучения пропорциональна числу N джозефсоновских контактов (что было подтверждено экспериментально), то для ее дальнейшего повышения нужно увеличить N .

И далее ...

- 2 Электронные карманы на поверхности Ферми дырочных ВТСП
- 2 Обнаружен эффект де Гааза - ван Альфена в высокотемпературных сверхпроводниках!
- 4 Спиновая динамика в псевдощелевом состоянии ВТСП

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 5 Почему светит электрохимическая ячейка? Оптическая точность без запутанности
- 6 Наноотверстия для оптики

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

- 7 Наномagnetизм
- 8 Оксидные гетероструктуры Нанопровода InGaN : перекрыт весь диапазон составов

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 9 Углеродные нанотрубки для газоразделительных мембран
- 10 Катод на основе углеродных нанотрубок с рекордной плотностью тока эмиссии
- 10 Новая эффективная смазка на основе фуллеренов

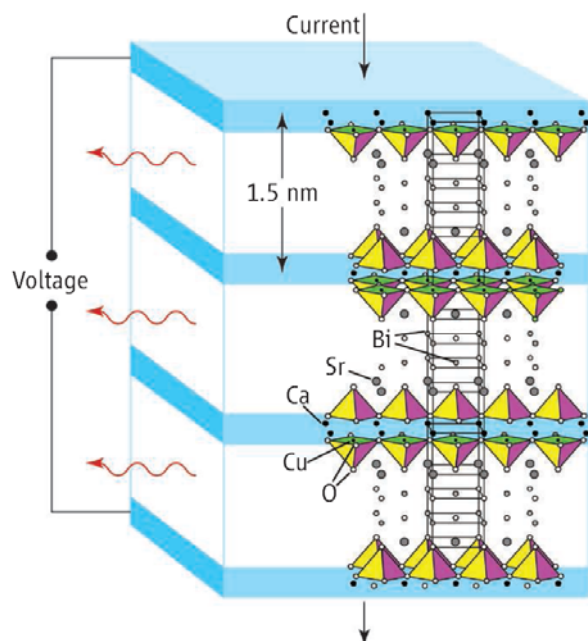
СПИНТРОНИКА

- 11 Электрическое поле управляет спинами отдельных электронов

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

- 12 Что год грядущий нам готовит? 32нм!
- 14 Число электронных журналов пошло в гору
- 14 Научная сессия ОФН РАН 22-23 января 2008 г. посвященная 100-летию со дня рождения Л.Д. Ландау

Оптимизация конструкции "ВТСП-генераторов" вкупе с разработкой квантовых каскадных лазеров позволит создать новые компактные твердотельные источники излучения и "замазать" наконец-таки терагерцовую щель.



Схематическое изображение внутренних джозефсоновских контактов в ВТСП $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$. Сверхпроводящие слои CuO_2 выделены голубым цветом. Слои BiO и SrO играют роль туннельных барьеров.

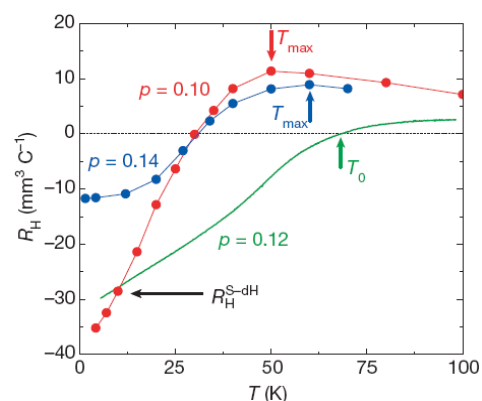
I. L. Ozyuzer et al., Science 318, 1291 (2007).

Электронные карманы на поверхности Ферми дырочных ВТСП

Критическая температура T_c дырочных ВТСП максимальна при концентрации дырок $p \approx 0.16$ (в расчете на один атом меди слоев CuO_2). Отклонение p от этой "оптимальной" величины в ту или иную сторону в конечном итоге приводит к переходу либо в диэлектрическую (при уменьшении p), либо в металлическую (при увеличении p) фазу. До сих пор окончательно не выяснено, как при изменении p меняется характер нормального состояния ВТСП при низкой температуре (когда сверхпроводимость подавлена магнитным полем). Недавно было показано, что в недодопированных ($p < 0.16$) ВТСП на поверхности Ферми имеются маленькие "карманы", тогда как передопированные ($p > 0.16$) ВТСП характеризуются наличием большой цилиндрической поверхности Ферми, то есть с ростом p происходит изменение топологии поверхности Ферми.

В работе [1] представлены результаты измерения коэффициента Холла R_H качественных недвойникованных монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ с $y = 6.51$, 6.67 и $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ ($T_c = 57.5$ К, 66 К, 80 К; $p = 0.10$, 0.12 , 0.14 соответственно) в сильных магнитных полях до 55 Тл. Показано, что понижение температуры этих ВТСП ниже $T_0 = 30$ К, 70 К, 30 К соответственно ведет к изменению знака R_H с плюса на

минус (см. рис.). Это говорит о том, что "карманы" в недодопированных ВТСП имеют не дырочное (как считалось ранее), а электронное происхождение. Возможно, они возникают из-за формирования волны зарядовой плотности (как в ВТСП $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ и $\text{La}_{2-y-x}\text{Nd}_y\text{Sr}_x\text{CuO}_4$) или какого-то другого типа дальнего порядка. Видоизменение поверхности Ферми происходит при критической величине $p_c \approx 0.14$.



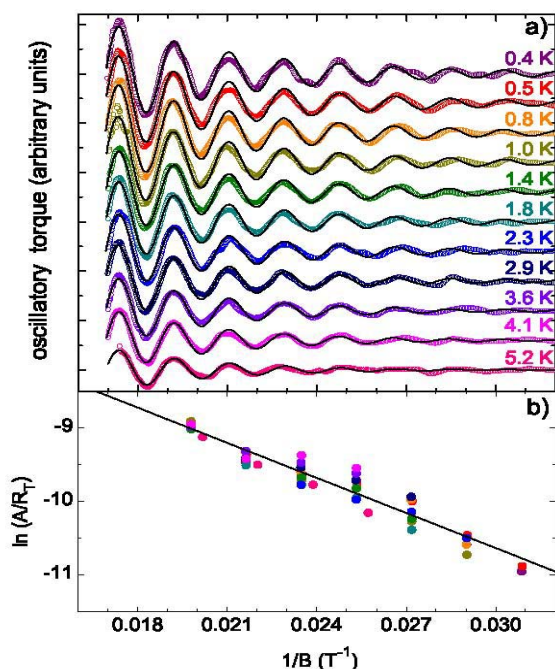
Температурные зависимости коэффициента Холла R_H в ВТСП с различной концентрацией дырок p . Здесь T_0 — температура смены знака R_H , $T_{\max}$ — температура максимума R_H . Черная стрелка показывает величину R_H , оцененную по частоте осцилляций Шубникова — де Гааза.

Л. Опенов

I. D. LeBoeuf et al., Nature 450, 533 (2007)

Обнаружен эффект де Гааза - ван Альфена в высокотемпературных сверхпроводниках!

В 1930 году профессор де Гааз, руководитель Лейденской лаборатории, вместе с сотрудником лаборатории ван Альфеном измеряли намагниченность M в кристаллах висмута как функцию поля B при 14.2 К и обнаружили осцилляции магнитной восприимчивости M/B . В том же году Л. Ландау дал объяснение таких осцилляций в теории свободных электронов. Осцилляции обусловлены квантованием движения электронов в сильном магнитном поле — возникают уровни Ландау, расстояние между которыми пропорционально полю. А сам эффект де Гааза - ван Альфена (дГВА) является прямым следствием осцилляции свободной энергии электронов при изменении магнитного поля. Интерес к эффекту дГВА возродился в 50-е годы, в значительной степени благодаря теоретическим работам И. Лифшица и А. Косевича и экспериментам Д. Шенберга, когда стало ясно, что эффект дГВА является уникальным инструментом исследования поверхности Ферми. В дальнейшем эффект дГВА наблюдался во всех чистых металлах и во множестве других металлических соединений. Многолетние исследования показали, что при изучении поверхности Ферми метод, основанный на эффекте дГВА, не может сравниться ни с каким другим по своей мощности и простоте.



С открытием ВСПП возникли два фундаментальных вопроса. Образуют ли носители заряда в нормальном состоянии ферми-жидкость? Можно ли наблюдать ферми-поверхность? Многочисленные попытки по наблюдению эффекта дГВА в ВСПП в 90-е годы всегда давали неоднозначные результаты. В возникший вакуум по исследованию электронной структуры влез поверхностный метод ARPES (фотоэлектронная эмиссия с угловым разрешением), дающий по сей день курьезные результаты [см. например 1]. 20 лет физикам приходилось делиться на две категории: «верующие» и «неверующие» в существование поверхности Ферми в ВСПП. Но 22 ноября сего года в электронном архиве препринтов *cond-mat* появилась статья с ясным названием «*de Haas - van Alphen oscillations in the underdoped cuprate $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5}$* » [2]. Необходимо отметить, что авторы статьи подготовили ВСПП сообщество, публикуя в течение шести месяцев статьи о наблюдениях квантовых осцилляций в эффекте Холла и сопротивлении в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5}$ и $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ [2]. Главный козырь - эффект дГВА, оставлен напоследок. Основные результаты работы: Четко видны магнитные осцилляции (рис. а) с одной частотой $540 \pm 4 \text{ T}$, что соответствует когерентной закрытой поверхности Ферми. В случае одного «кармана», а их может быть несколько, это небольшая часть $\approx 2\%$ от площади зоны Бриллюэна. Магнитные осцилляции отлично описываются теорией Лифшица-Косевича, применительно к двумерной Ферми-жидкости. Обработка по этой теории зависимости амплитуды осцилляций от поля дает прямую (рис. b), что соответствует циклотронной массе $m^* = 1.76 \pm 0.07 m_e$ (заметим, что многочисленные данные оптических измерений дают $m \approx 2 m_e$) и длине свободного пробега $\approx 16 \text{ nm}$. Авторы отмечают, что при учете хол-

ловских измерений на этом же образце, видимая поверхность Ферми - электронная. Классический ВСПП $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5}$ в нормальной фазе оказывается просто Ферми-жидкостью. Авторами [2] впервые получена ясная, достоверная и удивительно простая картина поверхности Ферми для $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5}$. Достойный урок физикам занимающимся «нефермижидкостным» поведением сильно коррелированных веществ.

Кому и как удалось, получить такой выдающийся результат? Три группы ученых из Канады и Франции, возглавляемых Л. Тайллефером, В. Бонном и К. Простом, шли к цели более пяти лет [3]. Две принципиальные трудности им удалось преодолеть впервые. Первая - исследование методом дГВА сверхпроводников второго рода с большими критическими полями ($\approx 50\text{-}100 \text{ кЭ}$) и температурами ($T_c \approx 50\text{-}80 \text{ K}$). Хотя наблюдение эффекта дГВА и возможно в смешанном состоянии сверхпроводников, т.к. орбитальное квантование определяется интегральным магнитным потоком через циклотронную орбиту и не зависит от распределения потока внутри, но амплитуда магнитных осцилляций в смешанном состоянии сильно подавляется по сравнению с нормальным состоянием. Эта задача решалась Л. Тайллефером и К. Простом путем сочетания магнитных импульсных полей до 60 T с длинным импульсом посредством новой очень чувствительной методики регистрации магнитного момента на основе микрокантилевера-магнетометра. Последняя методика прямо заимствована из сканирующей зондовой микроскопии. В магнетометре на кантилевер (упругая тонкая пластинка) вместо иглы помещается образец размером в доли миллиметра. В результате чувствительность микрокантилевера-магнетометра достигает уровня SQUID магнетометра. Вторая трудность - качество образцов, т.к. условия наблюдения эффекта дГВА требуют, чтобы длина свободного пробега превышала размер циклотронной орбиты. Проблема качества образцов решалась в группе Бона рамках длительной программы по росту высококачественных монокристаллов. Выбор системы 123 среди других ВСПП не случаен, т.к. только в этой системе возможно получить однодоменный монокристалл, стехиометрический по своему составу $2\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5} \equiv \text{Y}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_6\text{O}_{13}$ в «underdoped» области. «Результаты были получены, потому что кристалл оказался чистым», говорит Л. Тайллефер. «ВСПП были открыты 1987 году, а мы только сейчас окончательно имеем твердые знания об их физической природе».

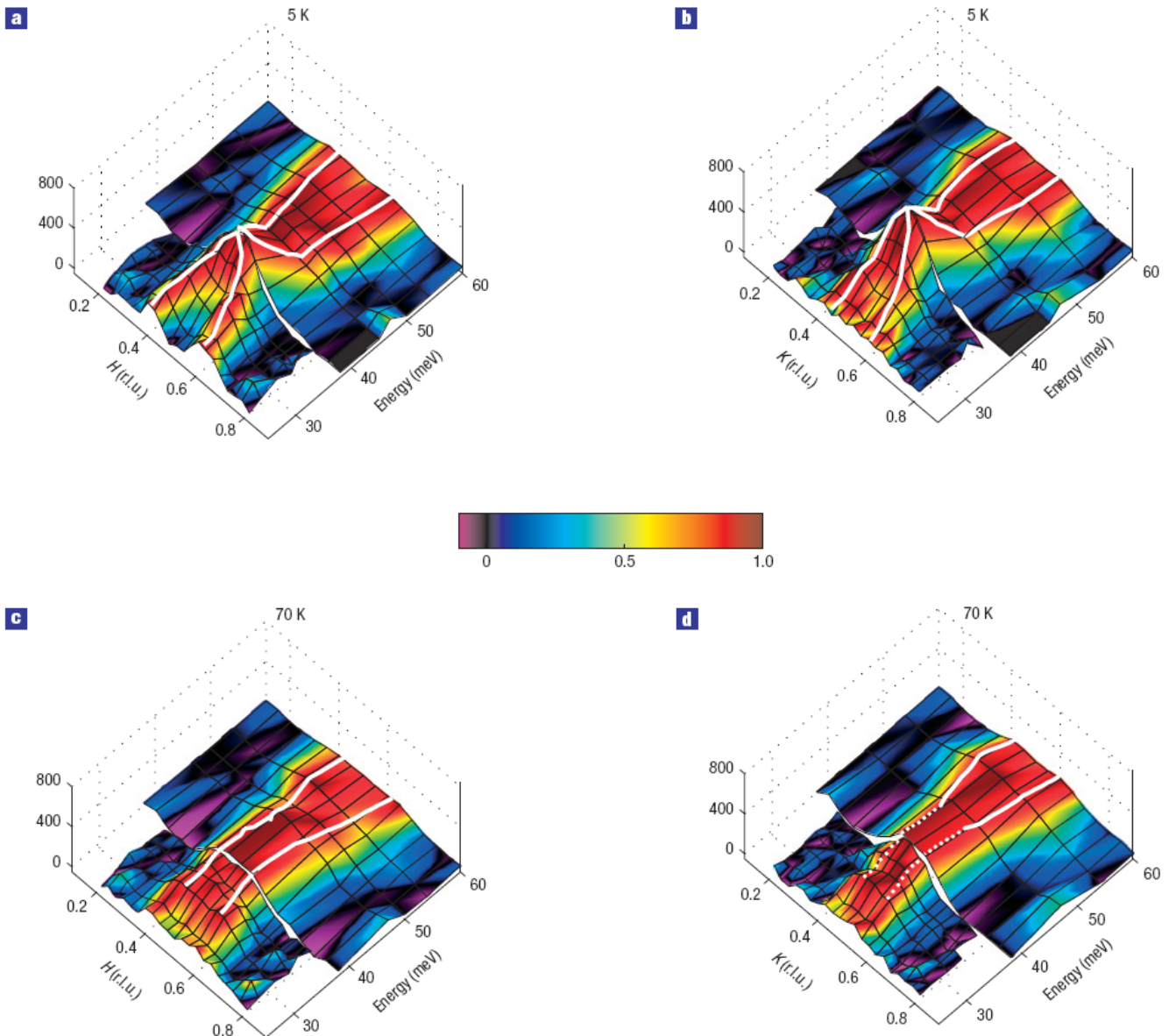
О.Е. Парфенов

1. A.S. Alexandrov et al., *Phys.Rev B* **76**, 132506 (2007).
2. C.Jaudet et al., *arXiv:0711.3559*.
3. B.G. Levi, *Physics Today* **60**, 26 (2007).

Спиновая динамика в псевдощелевом состоянии ВТСП

Псевдощелью в ВТСП называют резкое уменьшение спектрального веса вблизи энергии Ферми при охлаждении до температуры T^* , зависящей от концентрации носителей. Причины ее появления пока не вполне понятны. Вне зависимости от того, имеет псевдощель какое-то отношение к высокотемпературной сверхпроводимости или нет, природа псевдощелевого состояния в ВТСП представляет большой интерес. В работе [1] немецкие, французские и английские физики исследовали неупругое рассеяние нейтронов в недвойникованных монокристаллах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.6}$ с $T_c = 61$ К. Они обнаружили, что спектры спиновых возбуждений в сверх-

проводящем ($T < T_c$) и псевдощелевом несверхпроводящем ($T_c < T < T^*$) состояниях качественно различаются (см. рис.). Проанализировав полученные результаты, авторы сделали вывод, что спиновые возбуждения в псевдощелевом состоянии не могут рассматриваться как "некогерентные предвестники" резонансных возбуждений при $T < T_c$, а являются признаками наличия в недодопированных ВТСП какого-то упорядоченного многочастичного состояния, конкурирующего со сверхпроводящим. Это может быть, например, "состояние Померанчука", в котором нарушена симметрия относительно поворотов, или "динамическое страйповое состояние", в котором нарушена еще и трансляционная симметрия.



Интенсивность неупругого рассеяния нейтронов на монокристаллах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.6}$ при $T = 5 \text{ K} < T_c$ (a, b) и $T = 70 \text{ K} > T_c$ (c, d). Здесь H и K – направления в обратном пространстве, соответствующие направлениям осей a и b в координатном пространстве.

1. V.Hinkov et al., *Nature Phys.* **3**, 780 (2007).

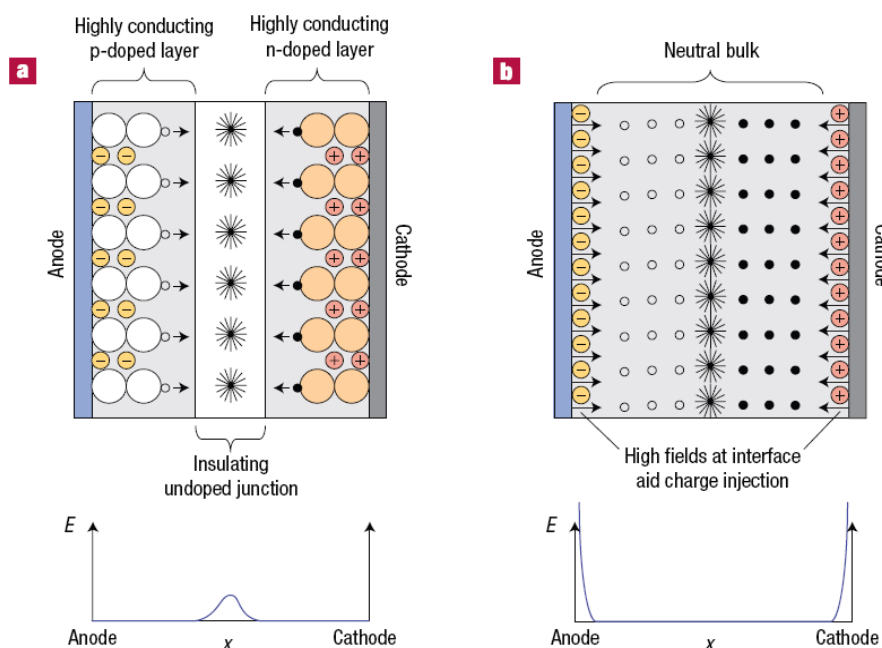
КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Почему светит электрохимическая ячейка?

Конструкция органической электрохимической ячейки очень напоминает полупроводниковый p-n переход, помещенный между двумя электродами. Разница в том, что полупроводниковый переход формируется заранее, а в электрохимической ячейке он возникает при приложении напряжения к электродам. В качестве материала используются органические ионные комплексы, например, комплекс рутения, который фактически является молекулярным полупроводником. Перемещение зарядов в этом материале осуществляется прыжковым механизмом.

Свечение ячейки вызвано тем же процессом, что и в полупроводниковом источнике света: внутри ячейки происходит излучательная рекомбинация электронов и дырок, приходящих с противополож-

ных сторон. В течение десятилетия существовало две модели (см. рис.): электрохимическая (a) и электродинамическая (b). Качественно они давали одинаковый результат, но отличались ролью подвижных ионов. В модели (a) важно значительное перемещение ионов, экранирующих поле электронов и дырок, аккумулирующихся вблизи катода и анода. В этой модели приложенное напряжение преимущественно падает внутри ячейки. В модели (b) перемещение ионов незначительное, приложенное напряжение в основном падает вблизи контактов, а внутри напряженность поля невелика. Недавний эксперимент с помощью атомно-силового сканирующего микроскопа отдал преимущество электродинамической модели (b). Микроскоп «нащупал» сильное поле вблизи контактов и слабое поле внутри ячейки.



Две модели работы электрохимической ячейки: электрохимическая (a) и электродинамическая (b).
Снизу показано качественное распределение напряженности электрического поля в ячейке.

В.Вьюрков

1. J.C. deMello, *Nature Materials* **6**, 796 (2007).

Оптическая точность без запутанности

Измерения являются основой в физике. Квантовая механика, а именно соотношение неопределенностей Гейзенберга, наложили ограничение на достижимую точность измерения. Это сказывается и в практических задачах, например в основной процедуре микроэлектроники – фотолитографии. Точность воспроизведения размеров ограничена длиной волны. Оказалось, что использование запутанных состояний фотонов может позволить преодолеть этот предел. К сожалению, создавать такие состояния очень непросто. Измерения в квантовой оптике могут быть более точными также при использовании запутанных состояний. Но есть и дру-

гие возможности, касающиеся измерения фазы, о которых далее рассказывается.

На рис. 1 сверху представлен обычный интерферометр, в одно из плеч которого вставлена пластинка, сдвигающая фазу на ϕ . Измерение этой фазы с максимальной точностью и есть цель эксперимента. В зависимости от разности фаз двух путей на выходе интерферометра изменяется интенсивность пучка в каналах f и e (рис.1, середина). Фаза измеряется тем точнее, чем выше интенсивность или количество прошедших фотонов N . Однако с увеличением количества фотонов кривая уширяется пропорционально $\sqrt{N}$ из-за статистического разброса, следовательно, точность растет, как $\sim \sqrt{N}$.

Точность можно довести до теоретического предела $\sim N$, если вместо отдельных N фотонов использовать их запутанное состояние.

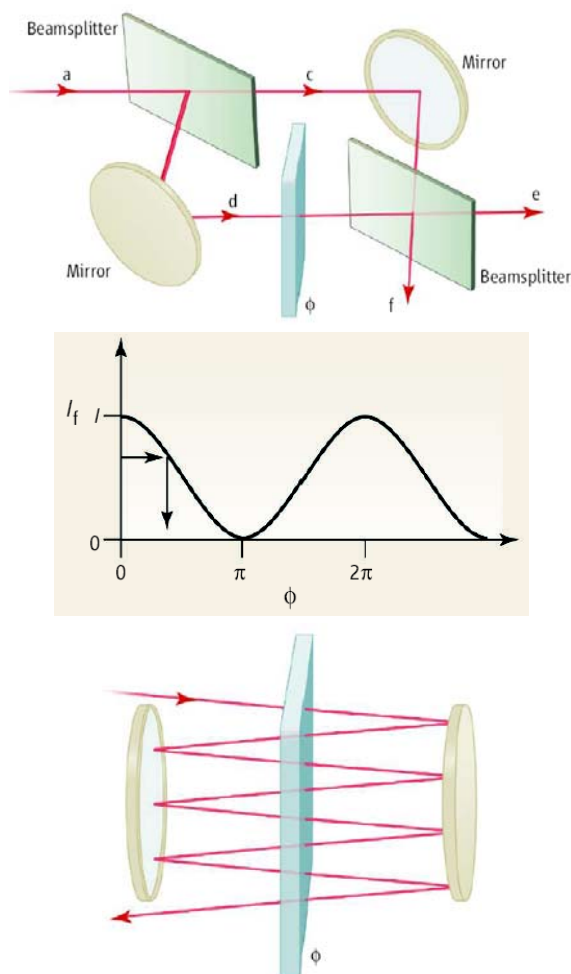


Рис. 1. Обычный интерферометр, содержащий делители (beamsplitters), зеркала и фазовую пластину ϕ (сверху). Интенсивность на выходе в зависимости от сдвига фазы (середина). Многократное прохождение фазовой пластины (внизу) [2].

Сотрудники Griffith University (Австралия) [1] в недавнем эксперименте показали, что для повышения точности измерения фазы можно обойтись без запутанных состояний. Как ни странно, идея пришла из квантовых компьютеров, и принадлежит известному специалисту в этой области А.Китаеву. Он предлагал для повышения точности измерений состояния пропускать один и тот же фотон через два одинаковых фазовых кубита, т.е. кодировать информацию в двух кубитах. Авторы настоящей работы используют многократное прохождение фотона через фазовую пластинку с помощью соответствующих зеркал (рис. 1, внизу). Если количество проходов равно n , то в эксперименте, фактически, измеряется фаза $n\phi$. Абсолютная погрешность в определении фазы $n\phi$ будет такой же, но абсолютная погрешность в определении фазы ϕ уменьшается в n раз. Этот прием работает для измерения малой фазы ϕ . Для измерения большой фазы надо поступать несколько хитрее, о чем сказано в статье.

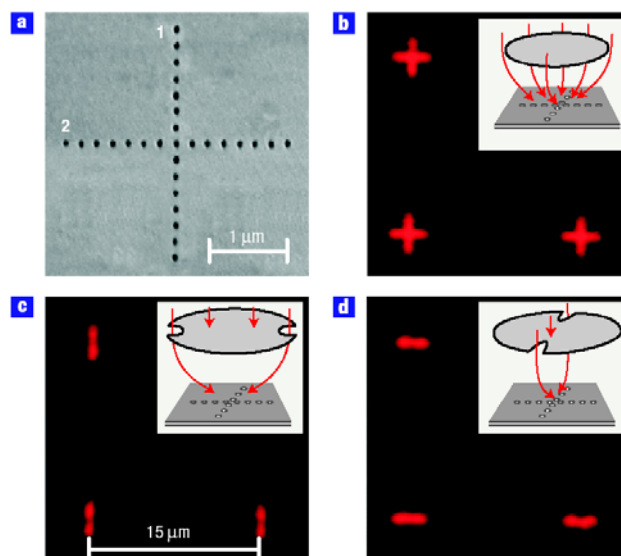
Настоящая работа не «отменяет» роль запутанных состояний, но просто указывает на другую, вполне классическую, возможность повышения точности измерения в квантовой оптике.

В.Вьюрков

1. B.L. Higgins et al., *Nature* **450**, 393 (2007).
2. J.L. O'Brien, *Science* **318**, 1393 (2007).

Наноотверстия для оптики

Длина волны в оптическом диапазоне частот находится в районе 1 мкм. Тем не менее, эти волны могут интенсивно взаимодействовать с объектами нанометровых и даже меньших размеров, частота колебаний которых совпадает с частотой волны. Простейший пример – это атомы. Сотрудники Chalmers University of Technology (Гетеборг, Швеция) [1] предлагают другой объект, который позволяет связать твердотельную наноэлектронику с оптикой и создать устройство, относящееся к нанооптоэлектронике. Подобные устройства могут быть использованы для создания оптического компьютера.



На тонкой пленке золота сформирована крестообразная структура из отверстий диаметром 80 нм и расстоянием между ними 150 нм (рис. 1а). Падающая волна возбуждает поверхностные плазмон-поляритоны (SPP), которые имеют существенно меньшую длину волны при данной частоте. В районе каждого отверстия возникает локализованный поляритон. Они взаимодействуют друг с другом с помощью электрического поля. В результате этого вся структура ведет себя как фазированная антенна. На рис. 1b-1d показано отражение неполяризованной электромагнитной волны при различном характере ее падения на металлическую пленку.

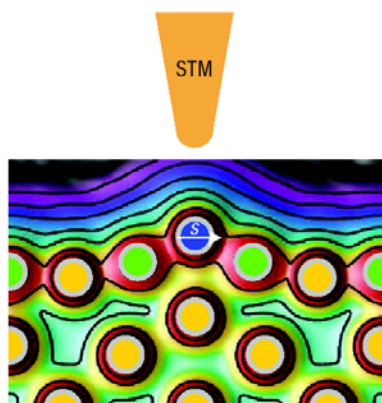
В.Вьюрков

1. Y. Alaverdyan et al., *Nature Physics* **3**, 884 (2007).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Наномагнетизм

За последние десятилетия плотность элементов в системах магнитной памяти увеличивалась гораздо более быстрыми темпами, чем в полупроводниковых устройствах. Сейчас уже ясно, что нет принципиальных запретов на создание "одноатомной магнитной памяти", в которой носителями информации являются магнитные моменты (спины) отдельных атомов. Поэтому огромное значение придается разработке методов определения магнитных характеристик вещества с атомным разрешением. В работе [1] специалисты из IBM использовали для этой цели сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) (см. рис.).



Они измерили спектры электронных возбуждений отдельных атомов Fe и Mn, адсорбированных на поверхности нитрида меди, и, проанализировав зависимость этих спектров от величины и направления внешнего магнитного

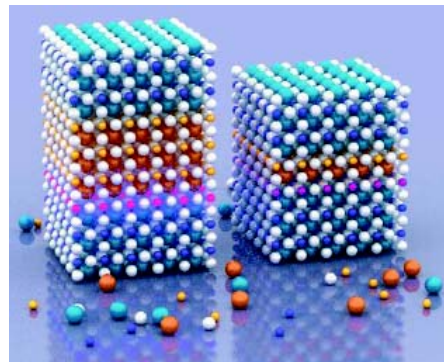
поля, нашли величины эффективных атомных магнитных моментов и энергий магнитной анизотропии E_A (количественная интерпретация данных СТМ потребовала детальных численных расчетов распределения электронной плотности на поверхности). Для атома Fe величина E_A составила 1.55 мэВ вдоль оси легкого намагничивания и 0.31 мэВ в перпендикулярной этой оси плоскости. В другой работе [2] сотрудники University of Hamburg (Германия) использовали спин-поляризованный СТМ для регистрации процессов поворота ("переключения") магнитных моментов наночастиц, состоящих из ~ 100 атомов Fe, и показали, что время жизни различных состояний (отличающихся направлением магнитного момента) можно регулировать путем инъекции электрического тока $I \sim 1$ нА (опять же спин-поляризованного). Так, увеличение I приводит к уменьшению времени жизни из-за локального джоулева нагрева на ~ 1 К (эксперимент проводили при $T \sim 50$ К). Этот эффект можно использовать для записи информации в магнитную память.

1. C.F.Hirjibehedin et al., *Science* **317**, 1199 (2007).
2. S. Krause et al., *Science* **317**, 1537 (2007).

Оксидные гетероструктуры

Разработка технологии выращивания многослойных структур с атомарно резкой границей раздела (ГР) слоев (например, путем молекулярно-лучевой эпитаксии) позволяет создавать искусственные ма-

териалы с новыми, зачастую весьма необычными свойствами. Особенно большие надежды здесь возлагают на оксиды. Например, хотя SrTiO_3 и LaAlO_3 являются диэлектриками, ГР в гетероструктуре $\text{SrTiO}_3/\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ (см. рис.) оказывается проводящей [1].



Модель гетероструктуры $\text{SrTiO}_3/\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$. Белые, оранжевые, желтые, большие голубые и маленькие темно-синие кружки – атомы O, La, Al, Sr и Ti, соответственно.

Более того, на ГР двух диэлектриков была обнаружена даже сверхпроводимость [2]. В работе [3] экспериментально и теоретически исследованы характеристики ГР между такими кардинально различными по своим физическим свойствам веществами как высокотемпературный сверхпроводник $(\text{Y,Ca})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ и манганит $\text{La}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$ с колоссальным магнитосопротивлением. Оказалось, что вследствие переноса заряда через ГР $d(3z^2-r^2)$ -орбитали слоев CuO_2 (которые в ВТСП полностью заполнены и не участвуют в сверхпроводимости) становятся заполнены лишь частично, то есть на них появляются дырки. Такая "орбитальная реконструкция" отличается от обычной "электронной реконструкции", которая имеет место на ГР других оксидных соединений и заключается в том, что распределение электронной плотности вблизи ГР становится не таким, как в объеме [4]. Этот эффект может использоваться для допирования диэлектрических слоев "нехимическим" методом – без эффектов разупорядочения, которые неизбежно приносят с собой неизовалентные примесные атомы. Здесь просматривается ряд важных практических приложений – например, магнитные туннельные контакты [5] и "оксидная электроника" [6]. Несмотря на большую исследовательскую активность последних лет, наши знания об электрических и магнитных свойствах оксидных ГР пока весьма ограничены, и здесь можно ожидать сюрпризов как для фундаментальной, так и для прикладной науки. Ведь число комбинаций различных оксидных материалов (ферромагнетики, антиферромагнетики, сверхпроводники, сегнетоэлектрики и др.) очень велико. Наверное, простым "экспериментальным перебором" здесь не обойтись, и нужно привлекать теоретические расчеты. Не исключено, что в скором времени мы услышим об открытии новых экзотических квазидвумерных со-

стояний (зарядовых, спиновых и пр.), стабилизированных на оксидных ГР.

Л. Опенов

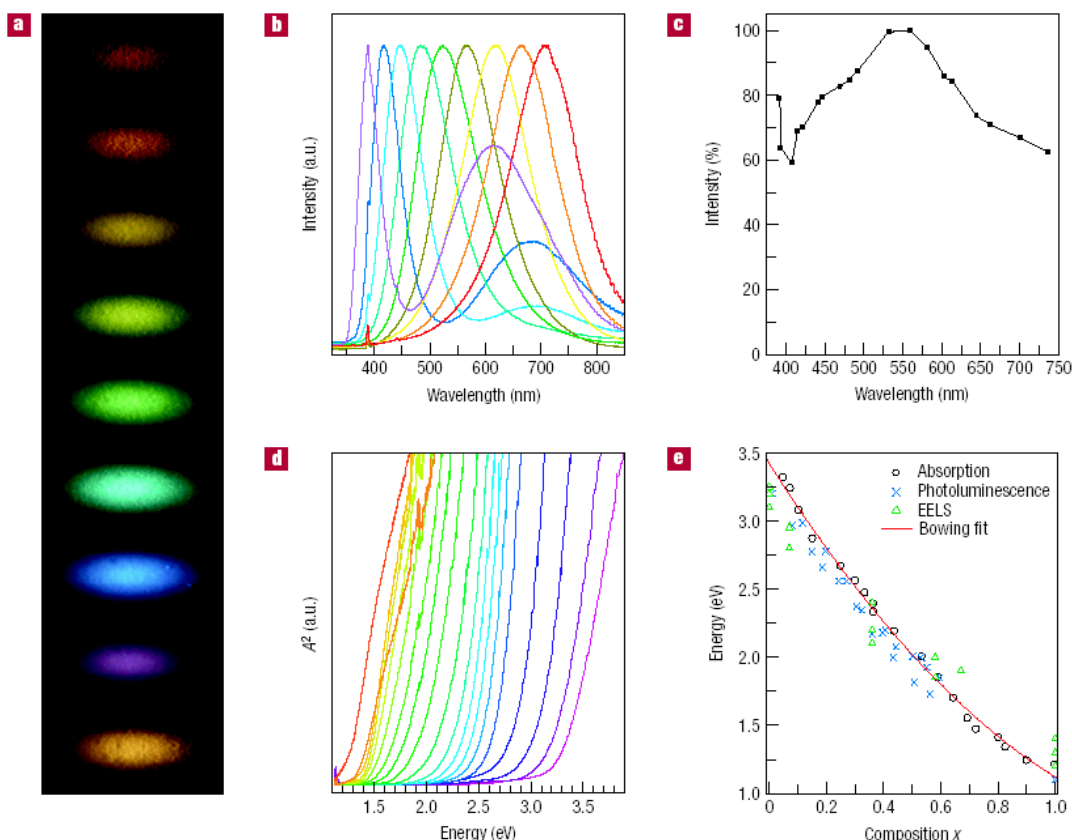
1. M.Huijben et al., *Nature Mater.* **5**, 556 (2006).
2. N.Reyren et al., *Science* **317**, 1196 (2007).
3. J.Chakhalian et al., *Science* **318**, 1114 (2007).
4. S.Okamoto, A.Millis, *Nature* **428**, 630 (2004).
5. H.Yamada et al., *Science* **305**, 646 (2004).
6. R.Ramirez, *Science* **315**, 1377 (2007).

Нанопровода InGaN : перекрыт весь диапазон составов

Прямозонные диэлектрики $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ – перспективные материалы для твердотельной оптоэлектроники, преобразователей световой энергии в электрическую и пр. В них ширина запрещенной зоны E_g изменяется от ≈ 3.5 эВ при $x = 0$ до ≈ 1 эВ при $x = 1$. Значительные усилия были направлены на то, чтобы научиться изготавливать тонкие пленки и нанопровода $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ с $0 < x < 1$. Но синтезу качественных пленок препятствует отсутствие подходящего материала подложки (что приводит к образованию большого количества дислокаций из-за несоответствия периодов решетки), а нанопровода удается вырастить лишь в ограниченном интервале x . Специалисты из University of California, Berkeley и Lawrence Berkeley National Laboratory разработали технологию изготовления нанопроводов $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, в которых x может принимать любые значения

от 0 до 1 [1]. Они использовали метод химического газозафазного осаждения из металлоорганических соединений (MOCVD). Препараторами служили InCl_3 , GaCl_3 и NH_3 (хлориды были выбраны, чтобы избежать загрязнения образцов углеродом). Катализаторы при этом не требуются вообще, да и подложки можно брать самые разные (в том числе из кремния и сапфира). Отличительной особенностью методики является низкая температура (около 550°C). С ростом x от 0 до 1 толщина нанопроводов увеличивается от $(10\div 50)$ нм до $(100\div 250)$ нм, их длина – от $(0.5\div 1)$ мкм до $(1\div 2)$ мкм, а периоды решетки a и c – от 0.3189 нм до 0.3535 нм и от 0.5188 нм до 0.5708 нм, соответственно. Как рентгеновская дифракция, так и просвечивающая электронная микроскопия свидетельствуют об однородности нанопроводов при всех x (незначительная модуляция состава имеет место лишь при $x = 0.70\div 0.9$) и об отсутствии в них признаков фазового расслоения. Они растут вдоль кристаллографического направления $[002]$. Исследования оптических характеристик нанопроводов (как отдельных, так и массивов), выполненные различными методами, показали, что величина E_g является гладкой функцией x во всем диапазоне $x = 0\div 1$ (см. рис.). Такие нанопровода могут найти самые различные применения: от осветительных устройств до солнечных батарей.

Л. Опенов



Ширина запрещенной зоны E_g в нанопроводах $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ с $0 \leq x \leq 1$, измеренная различными способами (спектроскопия поглощения, фотолюминесценция, спектроскопия потерь энергии быстрыми электронами). Сплошная линия – кривая $E_g(x) = P_1(1-x) + P_2x - Bx(1-x)$, где $P_1 = 3.43$ эВ, $P_2 = 1.12$ эВ, $B = 1.01$ эВ.

1. T.Kuykindall et al., *Nature Mater.* **6**, 951 (2007)

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

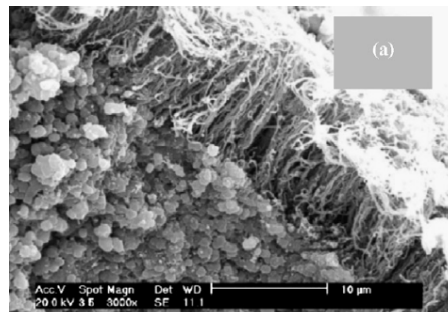
Углеродные нанотрубки для газоразделительных мембран

Необычное поведение газов и жидкостей внутри углеродных нанотрубок (УНТ) и других наноструктур продолжает вызывать большой интерес. Конечно, имеющиеся данные недостаточны, но, тем не менее, ясно, что на основе УНТ могут быть получены газоразделительные мембраны (в том числе композитные, смешанные и др.), имеющие существенные отличия от полимерных или цеолитовых. Сначала теоретики показали, что транспорт газа внутри одностенных УНТ на порядки величин больше, чем в других известных нанопористых материалах, затем были сделаны первые мембраны из нанотрубок, помещенных в газоплотную пленку из полимеров или нитрида кремния (об этом сообщал ПерсТ [1]). Было продемонстрировано, а позже подтверждено новыми расчетами, что транспорт газов на 1-2 порядка выше, чем для обычной диффузии в режиме Кнудсена. Заметим, что, кроме проницаемости, важной характеристикой для мембран является селективность, а до сих пор эксперименты были проведены для однокомпонентных газов. Хотя некоторые теоретики предсказывают высокую селективность, остается много невыясненных вопросов. В частности, расчеты [2] для пары CH_4/H_2 дают селективность 10-20, то есть большое преимущество метана над водородом при прохождении через мембрану, в то время как для режима Кнудсена, наоборот, преимущество имеет водород, и селективность H_2/CH_4 равна 2.8. Таким образом, опровергается предположение некоторых авторов о диффузии газа в кнудсеновском режиме (с учетом «зеркальности» стенок нанотрубок). Очевидно, что необходимым условием целенаправленного синтеза новых углеродных мембран как с высокой селективностью, так и проницаемостью является дальнейшее изучение механизмов молекулярного транспорта.

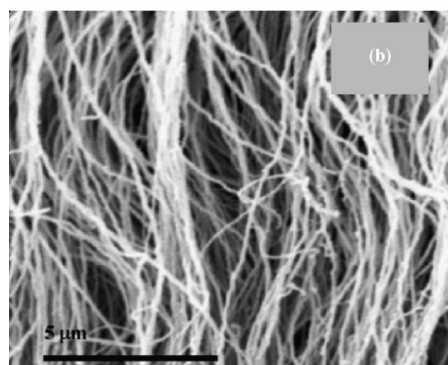
Второе важное условие – возможность масштабировать полученные уникальные мембраны. Ведь замечательные образцы, созданные экспериментаторами [1], имеют очень маленькие (до 50 мкм) размеры и не могут использоваться в промышленности.

Возможно несколько подходов к созданию углеродных наноструктурных мембран с необходимыми эксплуатационными свойствами. В РНЦ «Курчатовский институт» проводятся исследования, направленные на синтез таких мембран методом контролируемой карбонизации полимерных слоев, нанесенных на механически прочные подложки из термо- и химически стойкой керамики [3]. Предварительные результаты показывают перспективность использования фенолформальдегидных смол как прекурсоров углеродных наноструктур. Это подтверждает и недавнее сообщение румынских и польских исследователей о синтезе многостенных

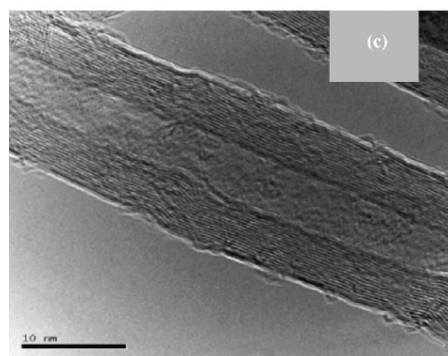
УНТ при карбонизации данных полимеров [4]. Образуемому необходимым углеродным наноструктурам может способствовать добавление наночастиц катализатора (например, никеля), а также выбор подложки с определенной структурой. Метод карбонизации полимеров позволяет получать мембраны трубчатой формы, более подходящие для практического использования в аппаратах.



(a) SEM изображение макропористой подложки, покрытой УНТ;



(b) увеличенное изображение масса УНТ;
(c) HRTEM изображение отдельной нанотрубки [5].



Применив другой подход, в основе которого лежит метод химического газозафазного осаждения (CVD), китайские ученые недавно успешно синтезировали мембраны из УНТ на плоской мак-

ропористой подложке из оксидов алюминия [5]. Диаметр диска равен 2 см при толщине 2 мм. Средний размер пор 300 нм. На этих подложках были выращены вертикальные углеродные нанотрубки (ферроцен использовался как прекурсор катализатора, источником углерода служил ацетилен). Затем промежутки между нанотрубками были заполнены раствором полистирола. После трехдневной сушки при 60°C верхний слой полистирола и закрытые концы нанотрубок убрали с помощью простой механической полировки. Поскольку слой полистирола имел белый цвет, авторам было легко контролировать эффективность полировки по появлению черных углеродных нанотрубок. Частицы катализатора были удалены при последующей обработке в концентрированной азотной кислоте. Этим способом можно получить плоские мембраны достаточно большого размера.

На рисунке изображены *SEM*-изображение макропористой подложки, покрытой УНТ (до заполнения полистиролом); увеличенное изображение УНТ и *HRTEM* изображение отдельной нанотрубки. УНТ имеют длину около 10 мкм и расположены примерно параллельно друг другу. Это многостенные нанотрубки с внешним диаметром 20 нм и диаметром внутренней полости 6.3 нм.

Авторы измерили газопроницаемость синтезированных композитных мембран по водороду, азоту и гелию. Полученные величины обратно пропорциональны квадратному корню из молекулярных масс газов, что соответствует модели Кнудсена, однако коэффициент диффузии, измеренный при 30°C, оказался в четыре раза больше, чем рассчитанный по этой модели для данной температуры и диаметра пор. Для мембраны *Holt et al.*, описанной в [1], превышение составило 1-2 порядка, но при диаметре пор ~ 1 нм. Кроме того, авторы [5] отмечают, что плотность размещения нанотрубок в их мембране гораздо ниже. Это обусловлено тем, что трудно получить высокую плотность Фекатализатора на пористой керамической подложке. Конечно, впереди еще много работы, но, тем не менее, китайские исследователи сделали заметный шаг к промышленному использованию газоразделительных мембран с селективным слоем из углеродных нанотрубок.

О.Алексеева

1. *ПерсТ 13*, вып.12, с.4 (2006).
2. *H. Chen, D.S. Sholl, J. Membr. Sci.* **269**, 152 (2006).
3. *О.К. Алексеева и др. Мембраны №4 (36), 2007 в печати*
4. *I. Stamatina et al., Physica E* **37**, 44 (2007).
5. *W. Mi et al., J. Membr. Sci.* **304**, 1 (2007).

Катод на основе углеродных нанотрубок с рекордной плотностью тока эмиссии

Использование углеродных нанотрубок (УНТ) в катодах в качестве источников холодной полевой эмиссии привело к существенному повышению выходных характеристик таких катодов. Это связано с высоким аспектным отношением УНТ, которое обеспечивает эффект существенного усиления электрического поля вблизи наконечника нанотрубки и, соответственно, вызывает значительную эмиссию электронов при умеренных величинах приложенного напряжения. При этом возникает естественный вопрос о предельных возможностях таких систем и, в частности, о предельно достижимых в них плотностях тока. Ответ на этот вопрос попытались недавно дать исследователи из University of Science and Technology, Beijing (Китай), которые создали эмиттер с плотностью тока свыше 100 А/см². В качестве источника эмиссии использовали многослойные УНТ диаметром около 30 нм и высотой 2–3 мкм, синтезированные методом CVD. Образец УНТ массой около 1г размещали в 32г этанола, после чего полученную сус-

пензию однородно наносили кремниевую подложку. После подсушивания и прогрева образец прикрепили с помощью проводящего клея к медной пластине. Поверхность катода имела форму круга диаметром 50мм. Эмиссионные свойства катода исследовали в импульсном режиме в диодной конфигурации в условиях вакуума ~ 10⁻³ Па. В качестве анода использовали пластину диаметром 60см с отверстием, через которое мог проникать электронный пучок. Измерения проводили в двух режимах: при напряжениях ~1.64 МВ и ~0.74 МВ. В первом случае межэлектродное расстояние составляло 98мм, а во втором – 65мм, длительность импульса в обоих случаях ~ 100 нс. Интервал между импульсами составлял 120с, что обеспечивало полную релаксацию катода после предыдущего импульса (ns pulse duration). Как показывают наблюдения, среднее расстояние между нанотрубками в катоде составляет около 1 мкм. При напряжении на аноде 1.64 МВ плотность тока эмиссии в первых импульсах достигает 344 А/см². Максимальная величина тока достигается при напряженности электрического поля 16.7 В/мкм и составляет 6.75 кА. Характеристики катода остаются неизменными в течение 110 импульсов. При напряжении на аноде 0.74 МВ плотность тока эмиссии в первых импульсах составляет 50 А/см². Максимальный ток эмиссии (0.98 кА) достигается при напряженности электрического поля 11.4 кВ/мкм. При этом характеристики катода остаются неизменными в течение 90 импульсов. Приведенные величины плотности и тока эмиссии являются рекордными и превосходят ранее достигнутые показатели в десятки раз.

В качестве механизма, обеспечивающего столь высокие токи эмиссии, авторы рассматривают явление взрывной эмиссии электронов, согласно которому источником эмиссии является прикатодная плазма, образующаяся в результате полевой ионизации молекул остаточных газов. Разделение зарядов в такой плазме, обусловленное действием внешнего электрического поля, приводит к возникновению дополнительного поля, способствующего полевой эмиссии нанотрубок. Длительность импульса тока эмиссии определяется временем разлета такой плазмы и составляет доли микросекунды. Такой механизм объясняет однородный характер эмиссии, наблюдаемый в рассмотренных экспериментах.

А.В.Елецкий

1. *Liao Q. et al., J. Phys. D: Appl. Phys.* **40**, 6626 (2007).

Новая эффективная смазка на основе фуллеренов

Вскоре после открытия фуллеренов (1985г.) появились предложения о создании новых смазочных материалов с добавлением этих молекул. На такую возможность указывали как идеальная сферическая форма молекул фуллеренов C₆₀, так и материальная

ПерсТ, 2007, том 14, выпуск 22/23

основа этих молекул (углерод), который в виде графита давно и широко используется в качестве основы целого класса смазочных материалов. Многочисленные эксперименты, выполненные в последние годы, указывают на повышение смазочных характеристик обычных масел в результате добавления небольших количеств фуллеренов. Недавно в Aichi University of Education и Seikei University (Япония) было выполнено детальное количественное исследование, проливающее свет на механизм, определяющий влияние добавки фуллеренов на рабочие характеристики смазочных композиций на основе графита. Результаты этого исследования могут быть положены в основу разработки «супер-смазки», обеспечивающей коэффициент трения поверхностей ниже 0.001. В качестве смазочной основы использовали высокоориентированный пиролитический графит (HOPG), который вместе с мелкодисперсным графитовым порошком естественного происхождения вводили в смесь концентрированных серной и азотной кислот (в объемном отношении 4:1) и перемешивали в течение 16 ч. Обработанный таким образом порошок промывали водой и просушивали при 100°C, после чего образец в течение 15с подвергали термической обработке. Это приводило к образованию слоистых графитовых частиц, которые затем вводили в 70%-ный спиртовой раствор и подвергали ультразвуковой обработке. Затем слоистые частицы графита вместе с порошком фуллерена C₆₀ или C₇₀ запаивали в условиях вакуума в кварцевую ампулу, которую в течение 15 дней выдерживали при 600°C. Полученный в результате описанной процедуры графит, интеркалированный фуллеренами, использовали для получения антифрикционного покрытия, представляющего собой пленку площадью 2.3x 2.3мм² и толщиной 0.2мм. Коэффициент трения этой пленки μ измеряли стандартным методом, как отношение силы трения к приложенному боковому усилию. В результате измерений получены величины $\mu < 0.001$, вдвое меньшие, чем у стандартной смазки на основе MoS₂ ($\mu \sim 0.002$) и для графитовой смазки ($\mu \sim 0.001$). В качестве физического механизма, определяющего характеристики смазочной пленки на основе графита, интеркалированного фуллеренами, авторы рассматривают возможность скольжения молекул фуллерена по графитовой поверхности, которое характеризуется значительно меньшим трением по сравнению со скольжением графитовых поверхностей друг относительно друга в силу более высокой площади контакта в последнем случае.

А.В.Елецкий

I. K.Miura et al. Jap. J. Appl. Phys. 46, 5269 (2007)

СПИНТРОНИКА

Электрическое поле управляет спинами отдельных электронов

Задача управления магнитными моментами с помощью электрических сигналов является одной из основных в спинтронике. Наиболее очевидное ее решение – приложение магнитного поля, созданного катушками с током. Однако такой способ все меньше отвечает требованиям миниатюризации: индуктивные катушки сложны в изготовлении и характеризуются большими энергетическими потерями. Поэтому все более привлекательной становится идея управления магнитными моментами с помощью электрического поля без посредства электрических токов. Об одной из таких возможностей – использовании мультiferроиков, в которых магнитная и электрическая подсистемы связаны магнитоэлектрическим взаимодействием, уже рассказывалось в ПерсТе [1]. В работе [2] сообщается об электрическом управлении спинами отдельных электронов, а в качестве посредника выступает спин-орбитальное взаимодействие.

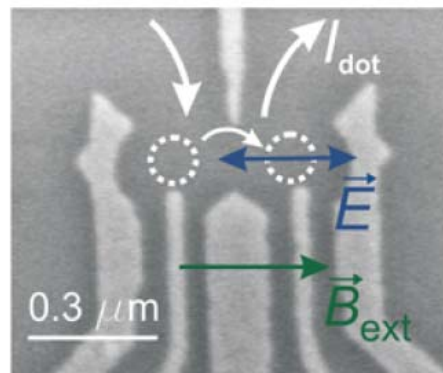


Рис. 1. Система электродов для управления спинами электронов (места локализации электронов отмечены пунктиром). Переменное электрическое, постоянное магнитное поле и туннельный ток обозначены синей, зеленой и белыми стрелками, соответственно.

Для демонстрации эффекта используются два электрона, локализованные в двух рядом расположенных квантовых точках, что технически реализуется на основе полупроводника GaAs с напыленными на него металлическими электродами (рис. 1). Спином одного из электронов управляют с помощью импульсов электрического поля, второй электрон используется для считывания информации о спиновом состоянии первого электрона.

Цикл записи/считывания информации происходит в несколько этапов.

- В начальном состоянии два электрона расположены в соседних квантовых точках, в состоянии с параллельными спинами (выделенное направление задает внешнее постоянное магнитное поле). Электрический потенциал на затворе, изолирует электроны друг от друга, создавая потенциальный барьер между ними (рис.2а).

- На следующем этапе, прикладывая импульс переменного электрического напряжения между

электродами, окружающими место расположения второго электрона, подвергают его воздействию осциллирующего электрического поля, в результате чего центр распределения плотности вероятности электрона периодически меняет свое положение. Изменение пространственной координаты приводит к изменению спин-орбитального взаимодействия и возникновению эффективного переменного магнитного поля, которое, в свою очередь, приводит к вращению спина электрона (осцилляциям Раби). Угол, на который поворачивается электрон, зависит от длительности импульса электрического поля (рис. 2б).

- На заключительном этапе создаваемый затвором потенциальный барьер, изолирующий две квантовые точки, снимается, и электроны получают возможность туннелировать из одной квантовой точки в другую. Однако, согласно принципу запрета Паули, туннелирование происходит лишь в том случае, если спины электронов антипараллельны. Таким образом, происходит считывание информации о спиновом состоянии второго электрона (рис. 2в).

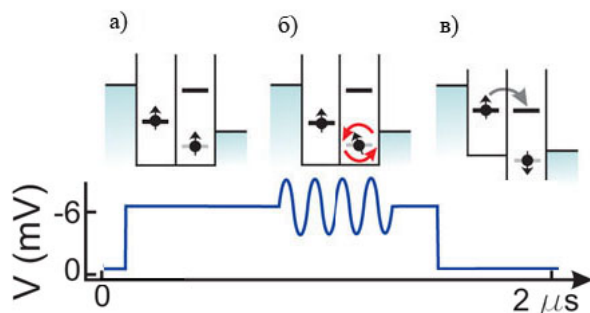


Рис. 2. Цикл записи/считывания: а) - изолированное состояние электронов; б) - вращение спина второго электрона в осциллирующем электрическом поле; в) - туннелирование первого электрона в соседнюю квантовую точку (при условии, что после вращения спины электронов оказываются антипараллельными). Снизу показана временная зависимость потенциала на крайнем правом электроде (рис. 1).

Данная последовательность действий повторяется циклически, и результирующий туннельный ток пропорционален вероятности нахождения спинов в антипараллельном состоянии. Изменение длительности импульса переменного электрического поля приводит к периодическому изменению туннельного тока. Увеличение амплитуды электрического импульса приводит к пропорциональному увеличению эффективного магнитного поля и, как следствие, пропорциональному увеличению частоты осцилляций (закон, характерный для магнитного резонанса).

Таким образом, впервые продемонстрирован способ электрического управления спином отдельного электрона, выводящий спинтронику на новый уровень миниатюризации. По сравнению с традиционными магниторезонансными методами (использующими

импульсы осциллирующего магнитного поля), данный способ обладает преимуществами простоты создания управляющего поля и лучшей пространственной селективности, что особенно критично для задач управления отдельными спинами.

А. Пятаков

1. *ПерсТ*, 13, вып.10, с. 4 (2006)

2. K.C. Nowack et al., *Science* 318, 1430 (2007).

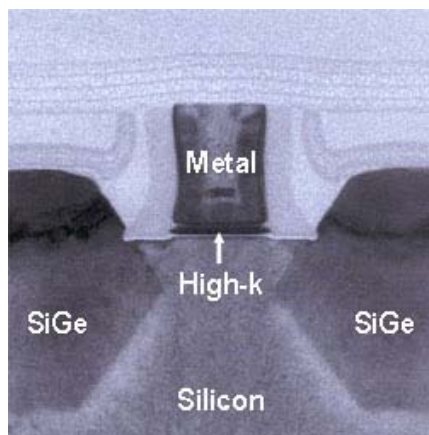
ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Что год грядущий нам готовит? 32 нм!

Текущий, 2007 год стал дважды знаменательным для полупроводниковой промышленности. Во-первых, благодарное человечество отметило знаменательную дату – 60-ти летие открытия транзистора, положившее начало современной компьютерной техники¹. Во-вторых, компания Intel совершила истинный прорыв в конструировании и технологии транзисторов, фактически создав новую технологию. Ступор традиционной кремниевой технологии возник при достижении 45-нм минимального топологического размера элементов и пропорционального уменьшения толщины подзатворного диэлектрика (SiO_2) до 2 нм. При этом токи утечки оказались неприемлемыми. Более 600 исследователей Intel работали над преодолением ситуации в течение нескольких лет с невероятным напряжением сил и энтузиазмом. Как заявил руководитель проекта «45 нм» Kaizad Mistry – «Yeah, it was hard work, there were many sleepless nights, long days, hours for many people» - «Ох! Это была тяжелая работа со многими бессонными ночами, нескончаемыми днями и часами для многих людей». Было перебрано множество новых материалов для изолятора с более высокой диэлектрической постоянной «*high-k*» и для проводящих слоев, в частности, отдельных независимых металлов с оптимальной работой выхода для затворов *PMOS* и *NMOS* транзисторов. В январе 2007г. Intel анонсировала завершение разработки, продемонстрировав статическую оперативную память (*SRAM*), а в ноябре приступив к серийному выпуску и поставкам новых процессоров семейства Penryn. Фактически Intel выиграла жесточайшую битву, вновь доказав свое превосходство в процессорах.

На прошедшей (10-12 декабря с.г.) в Вашингтоне конференции International Electron Device Meeting (*IEDM* 2007) Intel раскрыла некоторые детали разработки.

Транзистор имеет общую 35 нм физическую длину затвора, 1.0 нм эффективную толщину подзатворного *high-k* диэлектрика, напряженные слои кремния за счет введения SiGe островков и 9-ти слойные медные межсоединения. Используется «сухая» 193-нм литография. Точный состав диэлектрических и проводящих материалов компания пока не раскрывает.



На фото – микро-изображение транзистора, наделавшего так много шума в полупроводниковом сообществе.

Сегодня о разной степени готовности 45-нм технологии заявляют и основные конкуренты Intel:

- Advanced Micro Devices Inc. (AMD) планирует приступить к производству 45-нм чипов в первой половине 2008г. и начать поставки процессоров на их основе во второй половине 2008г.;
- Toshiba Corp. и NEC Electronics занимались разработкой совместно, в результате запущена массовая NAND флэш-память;
- Toshiba совместно с Sony планируют перевести на 45 нм процессор "Cell" к концу 2008г.;
- NEC планирует приступить к массовому производству 45-нм динамической оперативной памяти (DRAM) на 300 мм подложках к марту 2009г.;
- компания Ситроникс (Зеленоград) приступит к разработке 65- и 45-нм чипов на 300 мм подложках с января 2008 г. и планирует начать их массовое производство с октября 2009г. (компания получила от МЭРТ 2.3 млрд. долл. на строительство фабрики по их производству; сегодняшний уровень Ситроникс – запуск 180-нм технологического процесса для смарт-карт в кооперации с компанией STMicroelectronics с планируемым их массовым производством к концу 2008г.)

Очевидно, в 2008г. конкуренция за преодоление 32-нм барьера станет еще более жесткой. Достижение 32-нм – не самоцель. «32 нм» позволит вдвое увеличить число транзисторов на чипе и снизить потребляемую мощность на 45%, (в сравнении с «45 нм»). Отсюда снижение стоимости устройств, дальнейшее совершенствование мобильных устройств.

Intel уже заявила о разработке 32-нм технологического процесса, изготовив 291 Мб статическую оперативную память (SRAM) с размером ячейки 0.18мкм^2 . Чип содержит 1.9 млрд. транзисторов. IBM, еще не объявив о завершении 45-нм разработки, очевидно, решила дать бой компании Intel на 32-нм поле. Для ускорения работ создан альянс «IBM и партнеры» (другое название - Fishkill alliance, по месту проведения совместных работ в исследовательском центре IBM во Fishkill (N.Y.)). В альянс входят AMD, США; Chartered Semiconductor

Manufacturing, Сингапур; Freescale Semiconductor, США; Infineon Technologies, Германия; Samsung, Ю.Корея; недавно присоединившаяся STMicroelectronics, Швейцария. По планам альянса технология "high-k/металлический затвор" с минимальным топологическим размером 32 нм будет готова во второй половине 2009г. На IEDM 2007 альянс продемонстрировал в рамках 32-нм технологии 1.5 Мб статическую оперативную память (SRAM) с площадью ячейки менее 0.15мкм^2 . Они также ввели материалы с высоким k в 32-нм технологию кремния-на-изоляторе (SOI).

Гигантская кремниевая компания Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. Ltd. (TSMC) на IEDM 2007 представила информацию об испытании полностью функционирующего прототипа 2 Мб SRAM чипа, изготовленного по 32-нм технологии (компания не использует материалы с высоким k).

AMD планирует начать производство своих 32-нм чипов с использованием материалов с высоким k в 2010 г. В настоящее время 70 инженеров компании сосредоточились на разработке технологии материалов с высоким k для 45- и 32-нм процессоров.

Судя по данным, представленным на IEDM 2007, лидеры (Intel, «IBM и партнеры», TSMC) наступают на пятки друг другу. Но, как отметил К. Mistry (вице-президент Intel), «период от сообщения о разработке SRAM на IEDM до серийного продукта не менее 2 лет и, как правило, размер серийной ячейки оказывается значительно большим». Он же уверяет, что 32-нм SRAM, заявленная Intel, это – не экспериментальная память, а законченная разработка.

Однако, успех 32-нм технологии определяют не только интеллектуальные усилия ученых. Не менее важным станет способность компаний вложить в разработку процесса значительные инвестиции. За последнее десятилетие стоимость строительства современной полупроводниковой фабрики выросла на 250%, а стоимость разработки современного микропроцессора возросла на 400%. Срабатывает правило – чем меньше, тем больше.

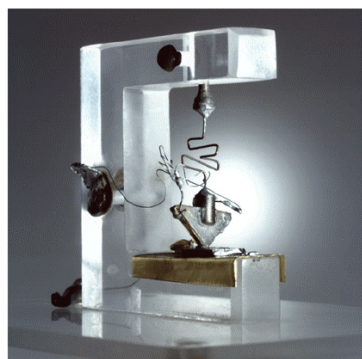
Стоимость разработки 32-нм технологического процесса оценивается аналитиками компании Gartner в 3 млрд. долл. (что в 2 раза выше стоимости разработки 65-нм технологии), а стоимость фабрики по выпуску 32-нм чипов оценивается в 3.5 млрд. долл.

Вот несколько цифр, отражающих финансовую ситуацию в преуспевающей современной полупроводниковой компании, способной выиграть конкуренцию за 32 нм: в 2006 г. доход Intel составил 35.4 млрд. долл., компания потратила на исследования и разработки 5.9 млрд. долл.

На фоне таких фантастических сумм становится объяснимым стремление злейших конкурентов к консолидации и сотрудничеству – совместные исследования и разработки; создание совместных текущих производств.

В рамках новых технологических достижений (*high-k*, металлический затвор, напряженные слои кремния, иммерсионная 193-нм литография, кластерная имплантация, бездиффузионный высокотемпературный миллисекундный отжиг) 45-нм технология может быть традиционно масштабирована к размерам 32- 22- и даже 11 нм. Этот путь потребует все более гигантских финансовых вложений. Посему не менее интенсивно в ведущих компаниях ведутся исследования технологических вариантов «down-top». Но нужно признать, что здесь конец пути еще за горизонтом.

В ряде докладов на *IEDM'2007* обсуждались результаты исследований квантовых наноструктур на гетеропереходах с квантовыми ямами и квантовыми точками и приборов на их основе, таких как лазеры, однофотонные эмиттеры, фотодетекторы. Их ближайшая перспектива – устройства отображения, биомедицина и газовые датчики. На стадии глубокого исследования полевые транзисторы на квантовых проволоках и квантовых точках. Они найдут применение в следующих поколениях электроники. Обсуждался также вопрос о том, что «за пределами кремния» - германий, A^3B^5 , углеродные нанотрубки, графен или другие молекулярные структуры? Итог панельной дискуссии на эту тему подвел Dimitri Antoniadis (профессор Массачусетского технологического института) следующей фразой - "Of course, declaring silicon dead is premature at best, so the timing of transitions will be dictated by the limits of our collective ingenuity in stretching the legs of the old warhorse"(не дословно, это может прозвучать так «Конечно, декларировать смерть кремния, по меньшей мере, преждевременно, переход к другим материалам будет диктоваться нашей коллективной изобретательностью в попытках оттянуть время, когда эта боевая лошадка протянет ноги». Эта точка зрения близка к «После кремния будет снова кремний» (академик К.А. Валиев в одном из давних интервью).



"The first transistor ever assembled, invented in Bell Labs in 1947." Photo and text from Porticus.org, www.porticus.org/bell/belllabs_transistor.html. (Follow that link to see more historical documents and images about Bell Labs and the transistor.)

премию за исследование и разработку полупроводниковых транзисторов. Первый полевой транзистор (основа современных компьютеров) изобрел в 1960 г. John Atalla (рисунок был также в одной из работ Shockley).

¹ На фото - первый в мире полупроводниковый транзистор на прижимном контакте, изобретенный в 1947 г. Brattain'ом и Bardin'ом (Bell Labs). W.Shockley продолжил их работы и в 1948 г. зарегистрировал патент на изобретение транзистора. В 1956 г. W. Brattain, J.Bardin, W.Shockley получили Нобелевскую

Материал подготовлен на основе ноябрьских и декабрьских сообщений сайтов

<http://www.eetimes.com/> и
<http://www.semiconductor.net/>

Число электронных журналов пошло в гору

Издательство Bentham Science Publishers, базирующееся в Нидерландах и выпускавшее до сих пор 79 научных журналов, главным образом по вопросам медицины и фармакологии, решило резко расширить масштабы своей деятельности. Недавно было объявлено о начале амбициозной программы выпуска аж 200 электронных журналов самой разнообразной естественнонаучной и технической тематики. В названиях всех этих журналов фигурируют слова "Open Journal". Иными словами, все желающие смогут бесплатно читать и скачивать публикуемые статьи. Публиковать предполагается краткие сообщения (до 8 стр.), статьи (более 10 стр.) и обзоры. Предельный объем статей и обзоров не ограничен. Рецензирование обещает быть строгим, но достаточно быстрым.

Что же касается физики, то в свет должны выйти журналы по таким ее разделам, как Acoustics, Applied Physics, Condensed Matter Physics, Crystallography, Nanoscience, Nuclear & Particle Physics, Physical Chemistry, Spectroscopy, Thermodynamics. Списки редакционных коллегий журналов, по крайней мере физических, выглядят весьма впечатляюще. Имеется тут, правда, одно "но", которое может заметно подпортить это благородное начинание. Дело в том, что журналы будут бесплатными для читателей, но отнюдь не для писателей. Авторы публикаций должны будут выложить кругленькую сумму от 600 долларов за краткое сообщение до 900 долларов за обзор. Вряд ли такая алчность издателей вызовет энтузиазм у научной общественности. Но поживем, увидим. Подробности на сайте: www.benthamscience.org

Научная сессия ОФН РАН



22-23 января 2008 г. (11.00) посвященная 100-летию со дня рождения Л.Д. Ландау
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (Ленинский просп., 53, главное здание, 3 этаж)

Программа

22 января 2008г.

1. академик А.Ф.Андреев
Сверхсолидность квантовых стекол
2. академик Ю.М.Каган
Кинетика формирования Бозе-конденсата и дальнего порядка

Перст, 2007, том 14, выпуск 22/23

3. академик Л.П.Питаевский
Сверхтекучая Ферми-жидкость в унитарном режиме
4. член-корреспондент РАН В.В.Лебедев
Колмогоров, Ландау и современная теория турбулентности

23 января 2008г.

1. академик И.М.Халатников
Лев Ландау и проблема сингулярности в космологии
2. член-корреспондент РАН Б.Л.Иоффе
Аксиальная аномалия в теории поля. Предсказание ширины пи-ноль мезона – точный результат в теории сильных взаимодействий
3. академик Л.Б.Окунь
Соотношение между энергией и массой у Эйнштейна, у Ландау и Лифшица и у Фейнмана
4. член-корреспондент РАН Л.Н.Липатов
Асимптотики Бьеркена и Редже для амплитуд рассеяния в квантовой хромодинамике и их суперсимметричные обобщения

Провожжаем год минувший ...

50-летний юбилей отметила в уходящем году теория БКШ, объяснившая явление сверхпроводимости с микроскопической точки зрения. Многим выдающимся ученым эта задача оказалась не по зубам (достаточно упомянуть Эйнштейна, Гейзенберга и Фейнмана). Многие ходили вокруг да около. Удача же улыбнулась троице – Джону Бардину, Леону Куперу и Бобу Шрифферу, которые спустя 15 лет получили за свои труды Нобелевскую премию. В октябре 2007 года в University of Illinois at Urbana-Champaign (где ими полвека назад и была проделана основная работа) прошла юбилейная конференция, участники которой с теплотой вспоминали минувшие годы, журили правительство США за недостаточное финансирование фундаментальной науки в годы нынешние и пытались заглянуть в будущее. Когда же будет наконец-таки создана теория высокотемпературной сверхпроводимости в слоистых купратах и открыты новые, комнатотемпературные сверхпроводники.

И встречаем Новый 2008 год! Творческих успехов, новых свершений и открытий, дорогие Читатели!

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

Научный редактор К.Кугель

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

В подготовке выпуска принимали участие: О.Алексеева, В.Вьюрков, А.Елецкий,

Ю.Метлин, Л.Опенков, О.Парфенов, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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