

В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### Необычная сверхпроводимость в $PuCoGa_5$ – мостик от тяжелых фермионов к ВТСП?

В обычных сверхпроводниках с фоновым механизмом спаривания как спин, так и угловой момент куперовской пары равны нулю. Поэтому макроскопическое квантовое состояние, в которое конденсируются куперовские пары, отделено энергетической щелью  $\Delta$  от возбужденного состояния с неспаренными электронами. Вследствие этого физические величины, определяемые плотностью электронных состояний вблизи уровня Ферми, имеют термоактивированную температурную зависимость при  $T < T_c$ . Если же куперовские пары образуются из-за обмена антиферромагнитными спиновыми флуктуациями, то их момент импульса отличен от нуля, так что  $\Delta = 0$  в некоторых точках импульсного пространства. Это приводит к степенным температурным зависимостям при  $T < T_c$ . Нули  $\Delta$  экспериментально обнаружены в двух классах сверхпроводников: слоистых медно-оксидных ВТСП и соединениях с тяжелыми фермионами на основе церия или урана. Это служит основой для предположения, что и в тех, и в других механизм сверхпроводимости является нефононным. Однако огромное (на два порядка) различие  $T_c$  порождает сомнения в справедливости такого предположения.

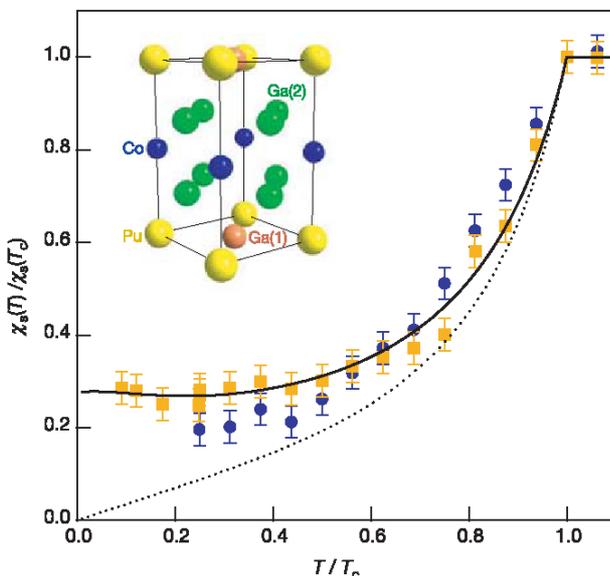


Рис. 1 Спиновая восприимчивость  $PuCoGa_5$  из данных ЯМР на ядрах  $^{59}Co$  (кружки) и  $^{71}Ga$  (квадраты). Пунктирная и сплошная линии – теоретические зависимости для сверхпроводника с  $d$ -спариванием без дефектов и с дефектами, соответственно. На вставке – кристаллическая структура  $PuCoGa_5$ .

Сверхпроводник  $PuCoGa_5$  по величине  $T_c \approx 20K$  занимает промежуточное положение между тяжелофермионными сверхпроводниками с  $T_c \sim 1K$  и ВТСП с  $T_c \sim 100K$ . В этой связи большой интерес представляет совместная работа ученых Los Alamos National Laboratory (США) и Chonnam National Univ. (Корея) [1], в которой

И далее ...

2 Сверхпроводники для спинтроники

### СПИНТРОНИКА

3 Холл измеряет одиночный спин  
В спинтронику едут ревизоры

### ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

4 Эффект веника

5 Определение структуры многослойных нанотрубок

### КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

5 Существует ли квант амплитуды?

Ионы поштучно

### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

6 Фото... на память

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

7 Трудное согласие достигнуто.  
*ITER* построят во Франции

### КОНФЕРЕНЦИИ

7 **31st August - 5th September 2005.** Belfast, Northern Ireland, UK. A Joint EPSRC/CMI Summer School on Quantum Information Theory and Technology

7

На гребне волны

### Сегодняшние рекорды

Максимальная длина ВТСП кабеля ( $Ag/Bi2223$  лента на медной трубке) - **500м** (передаваемая мощность **77МВА**). Изготовитель Furukawa Electric (Япония). Cryogenics 2005, 45, 11

получены убедительные экспериментальные аргументы в пользу сверхпроводимости с  $d$ -спариванием  $PuCoGa_5$ . Как спиновая восприимчивость  $\chi_s$  (рис. 1), так и скорость спин-решеточной релаксации  $T_1^{-1}$  (рис. 2а) при  $T < T_c$  ведут себя в точном соответствии с теорией для сверхпроводника с  $d$ -спариванием с дефектами (которых в  $PuCoGa_5$  очень много из-за процессов радиоактивного распада ядер плутония, например  $^{239}Pu \rightarrow ^{235}U + \alpha$ -частица).

Более того, при  $T > T_c$  температурная зависимость  $T_1^{-1}$  также качественно отличается от наблюдаемой в БКШ сверхпроводниках, зато совпадает (после соответствующего скейлинга) с  $T_1^{-1}$  в ВТСП Y-123 и в тяжелофермионном сверхпроводнике  $CeCoIn_5$  (рис. 2б), а кроме того – с предсказаниями для скорости релаксации за счет антиферромагнитных спиновых флуктуаций.

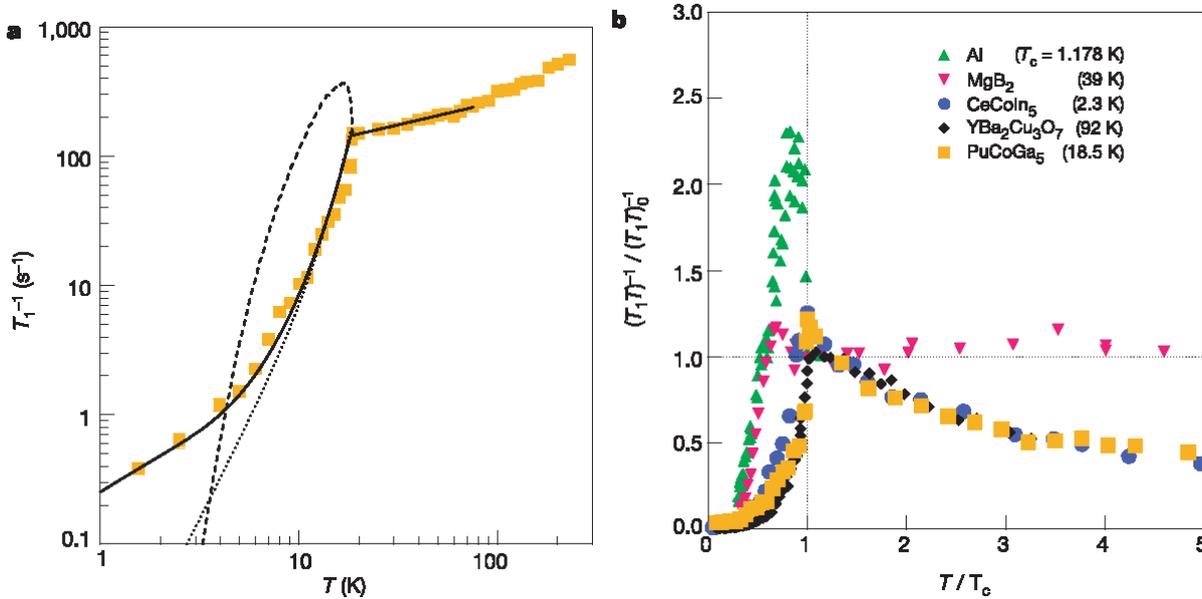
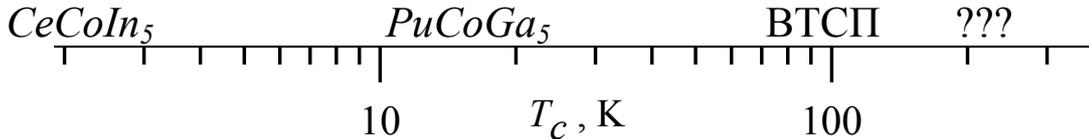


Рис. 2 (а) Скорость спин-решеточной релаксации  $T_1^{-1}$  в  $PuCoGa_5$ . Штриховая линия – теория для сверхпроводника с  $s$ -спариванием. Пунктирная и сплошная линии – теоретические зависимости для сверхпроводника с  $d$ -спариванием без дефектов и с дефектами, соответственно.

(б) Зависимость приведенной скорости спин-решеточной релаксации от приведенной температуры для разных сверхпроводников. Здесь  $(T_1T)_0^{-1} = (T_1T)^{-1}$  при  $T/T_c = 1.25$ .



Таким образом,  $PuCoGa_5$  играет роль своеобразного "мостика" (на шкале  $T_c$ ) между сверхпроводниками с тяжелыми фермионами и ВТСП. Общим для всех этих классов материалов, помимо "необычного" сверхпроводящего состояния, являются очень сильные кулоновские корреляции между электронами атомных  $f$ -оболочек (в  $CeCoIn_5$  и  $PuCoGa_5$ ) или  $d$ -оболочек (в ВТСП), которые приводят, соответственно, к резкому увеличению эффективной массы электрона или к переходу в состояние моттовского диэлектрика. Сосуществование близких по энергии локализованного и делокализованного состояний благоприятствует магнитному механизму спаривания электронов. Но если удалось поставить "точку" на отрезке, соединяющем  $T_c$  тяжелофермионных и купратных сверхпроводников, то почему бы теперь не попытаться продолжить этот отрезок за пределы его ВТСП-границы? Хотя бы на полпорядка...

Л.Опенев

1. N.J.Curro et al., Nature 2005, 434, 622

### Сверхпроводники для спинтроники

Постоянно растущая потребность в миниатюризации электронных устройств и увеличении их быстродействия заставляет искать новые способы записи и обработки информации. Одним из перспективных направлений исследований является так называемая "спинтроника", основанная на использовании электронных спинов в качестве носителей информации. Практической реализации идей спинтроники препятствует, однако, отсутствие эффективных экспериментальных методик создания и контроля спиновых конфигураций и спиновых токов. Возможный выход подсказали канадские и американские физики в работе [1].

Для управления спинами электронов в полупроводнике с магнитными примесями (например,  $Ga_{1-x}Mn_xAs$ ) они предложили использовать неоднородное магнитное поле абрикосовских вихрей в сверхпроводящей пленке, параллельной полупроводниковому слою (см. рисунок). Спины магнитных примесей выстраиваются вдоль поля и образу-

ют спиновую текстуру, характер которой определяется зеemanовским потенциальным рельефом, создаваемым локальными полями вихрей. Эта текстура адиабатически отслеживает движение вихрей в сверхпроводнике, что позволяет ею управлять. А для изменения расположения вихрей существуют различные способы. Например, расстояние между вихрями можно уменьшить, увеличив внешнее поле. Можно, используя приемы нанотехнологии, проделать в пленке канавки, куда "скатятся" вихри, и затем изменять положения вихрей, пропуская через пленку ток. Вслед за вихрями будет смещаться и спиновая текстура в полупроводнике. Пока все это – только теория. Но будем надеяться, что не за горами – и ее экспериментальное воплощение.

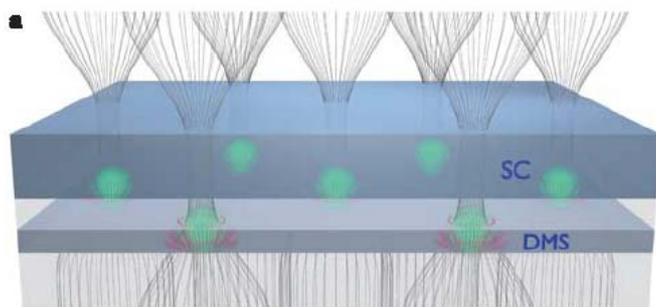


Рис. Схематическое изображение гибридной структуры сверхпроводник/полупроводник в магнитном поле. (DMS - diluted magnetic semiconductor).

1. M.Berciu et al., Nature 2005, 435, 71

## СПИНТРОНИКА

### Холл измеряет одиночный спин

Расчеты, выполненные учеными из Inst. Semiconductors (Chinese Academy of Sciences), показывают, что состояние одиночного спина можно измерить с помощью субмикронного холловского магнетометра [1]. Это довольно неожиданный результат. До сих пор считали, что магнитное поле, создаваемое спином, настолько мало, что не поддается измерению. Все предложенные до сих пор методы измерения состояния спина электрона были основаны на обменном взаимодействии, которое проистекает из кулоновского, и поэтому может быть весьма значительным. Что касается измерения одиночного ядерного спина, то предлагали переводить его состояние в состояние спина электрона, которое затем измерять.

Авторы [1] рассчитали холловский ток в структуре на основе двумерного электронного газа, показанной на рис.1, где  $\mu_i$  – химические потенциалы в соответствующих контактах. Спин создает магнитное поле в центральной области. Ввиду субмикронных размеров структуры рассматривали баллистический перенос носителей, для расчета тока использовали формулу Ландауэра-Бюттикера с коэффициентами прохождения из одного канала в другой. Магнитное поле изменяет эти коэффициенты, поскольку искривляет траекторию движения электронов. Для ширины каналов 10нм, если электрон помещен на расстоянии

5нм от плоскости двумерного газа, холловское напряжение достигает величины 10нВ, что находится на пределе измерительных возможностей.

Представленный способ измерений очень напоминает т.н. эффект экстраординарного магнетосопротивления, который, действительно, обеспечивает высокую чувствительность к магнитному полю, но трудно было представить, что настолько высокую.

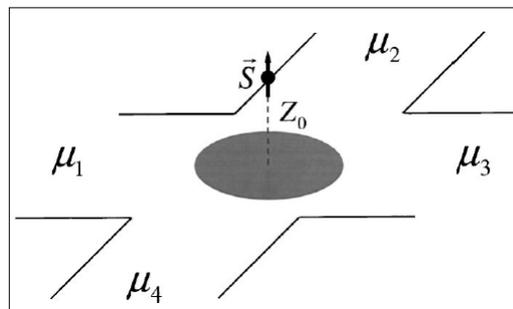


Рис. 1. Схематическое изображение измерения одиночного спина  $S$  холловским магнетометром.

В.Вьюрков

1. Appl.Phys.Lett. 2005 86 143504.

### В спинтронике едут ревизоры

Американские ученые S.Bandyopadhyay и M.Saha в прошлом году уже произвели ревизию спинового полевого транзистора [1]. В основном был рассмотрен самый первый подобный транзистор, который предложили Datta и Das в 1990 году. Схематическое его изображение представлено на рис. 1. Исток, которым может быть, например, ферромагнетик, в идеале поставляет поток электронов со 100% спиновой поляризацией в канал транзистора. Сток служит спиновым фильтром, он пропускает только электроны с соответствующей спиновой поляризацией. Спин-орбитальное взаимодействие внутри канала, управляемое напряжением затвора, производит поворот спинов. При повороте на  $180^\circ$  электроны уже не проходят в сток, ток равен нулю. Это и есть закрытое состояние транзистора. Потенциал затвора создает перпендикулярное электрическое поле в канале, которое вызывает анизотропию движения электронов относительно этого направления. Это и есть как раз условие возникновения спин-орбитального взаимодействия Рашбы.

Следует подчеркнуть, что полевой спиновый транзистор работает совершенно на других принципах, нежели обычный полевой транзистор. Тем не менее, именно с ним его надо сравнивать. Авторы [1] показали, что все надежды, связанные со спиновым транзистором, а именно, низкое управляющее напряжение, малое энергопотребление и высокое быстродействие, противоречивы. Улучшая одно, мы неизбежно ухудшаем другое. Так низкое напряжение на затворе приводит к необходимости длинного канала, чтобы успеть перевернуть спин. Это снижает быстродействие и делает недопустимо большим ток в закрытом состоянии из-за процессов релакса-

ции спина. Вывод такой: до тех пор, пока ученые не придумают структуры, в которых гораздо более сильное спин-орбитальное взаимодействие, спиновый полевой транзистор будет уступать кремниевому. Следует еще добавить, что и идеального 100% инжектора спинового тока и, соответственно, 100% фильтра пока не существует.

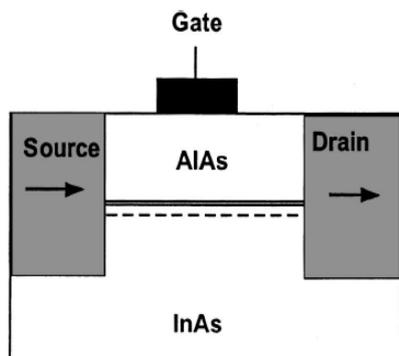


Рис. 1. Схематическое изображение спинового полевого транзистора.

В новой публикации [2] те же авторы подвергают критике спиновый биполярный транзистор. В этом транзисторе эмиттером и коллектором являются магнитные материалы с одинаковой намагниченностью, а базой – магнитный материал с противоположной намагниченностью. Принцип работы такого транзистора списан с обычного биполярного транзистора, если основными носителями в соответствующих областях считать электроны, у которых направление магнитного момента спина совпадает с намагниченностью материала, а неосновными те, у которых противоположное направление магнитного момента. Расчеты, выполненные на основе этой аналогии, показали, что подобный транзистор не годится для обработки сигналов. У него низкое усиление по току и напряжению и, кроме того, плохая изоляция между входом и выходом.

*В.Вьюрков*

1. *Appl.Phys.Lett.* 2004, **85**, 1433
2. *Appl.Phys.Lett.* 2005, **86**, 133502

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

### Эффект веника

В нравоучительных детских сказках в качестве неотразимого аргумента в пользу дружбы и сотрудничества традиционно излагают эксперимент с веником: прутики легко ломаются по одному, но связанные в веник становятся мощными и непреодолимыми. Возможно, именно впитанная с детства иррациональная вера в исключительные свойства веников и других пучков прутиков заставила авторов работы [1] обратиться к объяснению результатов работы [2]. В ней еще в 1999г. утверждалось, что в пучках одностенных углеродных нанотрубок возможно накопление 8.5 вес. % водорода. Углеродные трубки как адсорберы водорода исследовали многие и до работы [2]. Итоги были разные; общим было то, что результаты оказывались заметно скромнее достигнутого в [2]. Кроме того, заявлен-

ные 8.5% соответствовали перспективным требованиям Министерства энергетики США, что было и вовсе подозрительно.

Тем не менее, интернациональная команда из California Inst. Technology (США) и Korea Advanced Inst. Science & Technology (Южная Корея) [1] отнеслась к упомянутым 8.5% без предвзятости и попыталась разобраться, откуда бы могли взяться эти рекорды. По современным представлениям, физическая адсорбция (в том числе водорода на нанотрубках) идет достаточно активно, пока поверхность не покрывается монослоем адсорбированного вещества, в нашем случае водорода. Следующий слой молекул должен сорбироваться уже на поверхность монослоя тех же самых молекул. При этом силы, которые могли бы удерживать последующие слои – это относительно слабые, ван-дер-ваальсовы силы, поэтому сорбирующая способность поверхности ограничивается примерно монослоем. Но оказалось, что для веников это не совсем так.

В своей работе авторы [1] использовали компьютерное моделирование методом молекулярной динамики, что, конечно, позволяет сомневаться в окончательности выводов: все-таки, никаких реальных граммов водорода они не накопили. Но зато им удалось разглядеть происходящее вокруг пучка нанотрубок в таких подробностях, которые и не снились реальному эксперименту. Так вот, оказалось, что при температурах ниже 80К и давлениях выше 2МПа (20атм.) вокруг пучка нанотрубок водород ожижается. На приведенных в статье иллюстрациях к расчетам ясно видно образование упорядоченной (наподобие кристаллической) фазы, обволакивающей пучок нанотрубок. Подобной фазы не образуется при меньших давлениях или больших температурах. Не образуется фазы из упорядоченных молекул и вокруг отдельной одностенной или многостенной углеродной трубки.

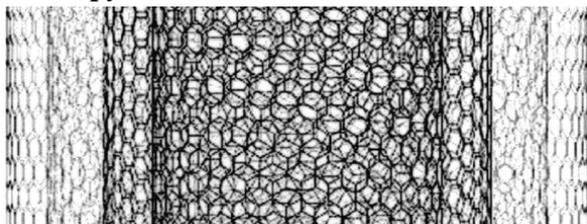
Судя по всему, авторы сами не ожидали столь ясного и категоричного результата. Обычно моделирование все-таки дает в ответе то, что в него заложат с исходными уравнениями. Но так, чтобы на одиночной трубке адсорбированные молекулы были хаотичны, а на пучке плотно упаковывались в регулярные слои – откуда бы этому взяться? Остается полагать, что исходные данные для моделирования были избыточно информативными и содержали какую-то глубинную сермяжную правду, которая и выплыла при вычислениях без ведома исследователей. К чести авторов, они все-таки пытаются дать объяснение. Они отмечают, что процесс ожижения начинается и происходит в области давлений, при которых трубки начинают деформироваться и становятся чуть эллиптическими (кстати – что одинаково для трубок и пучков трубок; но ожижение, по данным работы, есть только на пучках). Электроны нанотрубок смещаются в область большей кривизны и тем самым трубки электрически поляризуют-

ся. Далее вступает в игру дипольное взаимодействие молекул, которые тоже поляризуются и могут начать действовать на больших расстояниях, что может привести к конденсации. Конечно, это еще не реальное ожижение водорода при 80К, но какие-то предпосылки к этому просматриваются. Так что у водородной энергетики проявились новые перспективы - и все благодаря веннику.

М.Компан

1. *Appl. Phys. Lett.* 2005, **86**, 203108
2. *Appl. Phys. Lett.* 1999, **74**, 2407

### Определение структуры многослойных нанотрубок



Прикладной потенциал углеродных нанотрубок будет реализован, если удастся развить методы синтеза нанотрубок с заданными структурными параметрами - диаметром, хиральностью и, в случае многослойных нанотрубок, числом слоев в них, а для начала – научиться определять эти параметры с большой точностью. Значительный прогресс в определении индексов хиральности однослойных нанотрубок достигнут методами туннельной электронной микроскопии. Более трудная задача - определение структурных особенностей многослойных нанотрубок, поскольку они содержат внутренние элементы, недоступные для прямых наблюдений. Более подходящим средством оказывается просвечивающий электронный микроскоп с нанометровым поперечным сечением электронного пучка. Используя пучок с энергией 80кэВ, обеспечивающий разрешение 0.34нм, исследователи из *Univ. North Carolina*, (США) получили дифракционное изображение четырехслойной нанотрубки с внутренним диаметром 2.6нм и внешним диаметром 5.0нм [1]. Обработка полученных изображений позволила определить величины индексов хиральности всех четырех нанотрубок, составляющие (32,1), (26,24), (39,25) и (64,2). Вопреки установившейся точке зрения, согласно которой расстояние между соседними слоями в многослойной нанотрубке всегда постоянно и близко к величине 0.34нм, в данном случае это расстояние изменяется от 0.36нм для внутренних до 0.5нм для наружных слоев.

А.В.Елецкий

1. *Appl. Phys. Lett.* 2005, **86** 191903

### КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

#### Существует ли квант амплитуды?

Ю.Ожигов (ФТИАН, МГУ) выдвинул гипотезу о существовании кванта амплитуды волновой функции. Размерность гильбертова пространства систе-

мы  $n$  кубитов равна  $2^n$ . Амплитуда волновой функции в максимально запутанных состояниях этих кубитов приблизительно равномерно распределена по всему пространству и, следовательно, равна  $2^{-n}$ . С увеличением числа кубитов амплитуда резко убывает. Ю.Ожигов предполагает, что может существовать предел такому дроблению, т.е. амплитуда не может быть меньше некоторого кванта амплитуды. С учетом нормировки волновой функции квант амплитуды является безразмерной величиной. Согласно предлагаемой гипотезе, многочастичная квантовая система 'эволюционирует таким образом, что слишком малые амплитуды не реализуются. Если это так, то квантовые системы можно моделировать с помощью классических компьютеров. При этом решение квантовых уравнений должно включать процедуру обнуления слишком малых амплитуд, но с сохранением нормировки.

Как можно проверить справедливость этой гипотезы? По мнению автора, если для взлома современной системы секретного кодирования будет создан квантовый компьютер с числом кубитов  $\sim 1000$ , способный реализовать алгоритм Шора (который как раз основан на сильно запутанных состояниях), то это будет означать либо отсутствие кванта амплитуды вообще, либо очень маленькую его величину, которая не препятствует практическому использованию квантовых компьютеров.

Работа опубликована в Банке препринтов [1] и представлена на семинаре по квантовым компьютерам во ФТИАН. Конечно, нельзя отвергать гипотезы только из-за их непривычности. Однако весьма существенным возражением является то, что эта гипотеза, как и всякая научная теория, должна быть сформулирована с соблюдением некоторых инвариантностей, например, к выбору базиса состояний квантовой системы. Этого пока сделать не удалось.

В.Вьюрков

1. <http://xxx.lanl.gov/abs/quant-ph/0412196>

26 Dec 2004

#### Ионы поштучно

Одной из главных технологических проблем изготовления квантового компьютера на основе атомов фосфора  $^{31}P$  в кремнии является имплантация одиночных ионов в окна маски. Очень непросто с вероятностью, близкой к единице, имплантировать один ион и с вероятностью, близкой к единице, не имплантировать второй. Если вероятность попадания одного иона за некоторое время равна  $p \approx 1$ , то вероятность попадания двух ионов равна  $p^2 \approx 1$ . Австралийские физики из *Univ. Melbourne* и *Univ. New South Wales* придумали, как преодолеть этот запрет теории вероятности.

Идея состоит в регистрации момента попадания иона в определенное окно маски и прерывания дальнейшей имплантации в это окно. Они использовали ионы  $^{31}P$  с энергией 14кэВ, которые, попадая через окно маски в тонкий слой кремния, вызывали

генерацию электрон-дырочных пар. Пары, разделяясь в поле, давали всплеск тока, протекающего между верхним  $p^+$ -контактом и нижним  $n^+$ -контактом с разностью потенциалов 10В (см. рис.). Ион имплантируют на глубину 20нм под поверхность кремния именно так, как нужно для квантового компьютера. В эксперименте использовали маску, содержащую 400 отверстий диаметром 20нм. Широкий пучок ионов, конечно, пока не позволил реализовать режим одноионной имплантации. Главным достижением было подтверждение надежной регистрации попадания отдельных ионов в кремний. Для формирования регулярной одноионной структуры необходимо использовать более узкий пучок ионов.

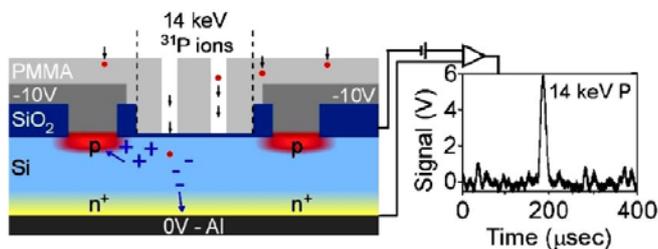


Рис. Схема регистрации попадания одиночного иона в окно маски

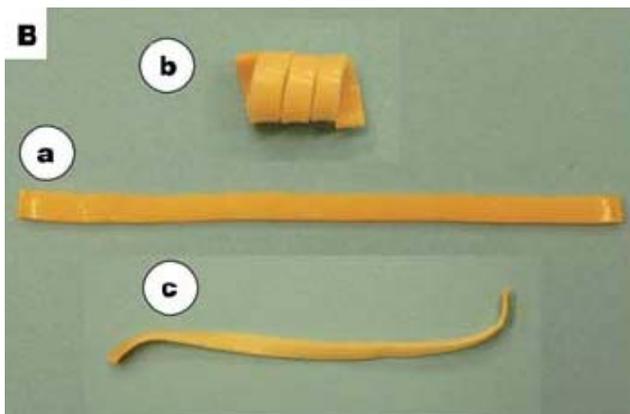
После проведения имплантации могут возникнуть проблемы с отжигом для активации примесных центров, чтобы превратить их из глубоких в мелкие. На какое расстояние при этом будет сдвигаться атом фосфора, пока не ясно.

В.Вьюрков

1. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, 86, 202101

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

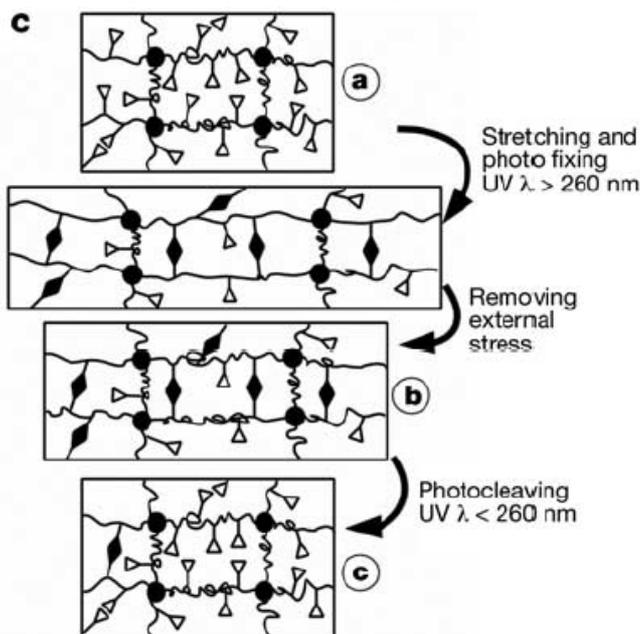
### Фото... на память



Эффекты памяти формы известны давно. Обычно восстановление исходной формы деформированного материала достигается путем нагрева или пропускания электрического тока. Недавно в полимерах было обнаружено восстановление формы под действием света [1, 2]. Этот необычный эффект отнюдь не сводится к нагреву образца, т.к. сам по себе нагрев даже до 50°C не вызывает изменения формы образца. Авторы [3] получили несколько новых типов полимеров с памятью формы, управляемой светом. На рис.1. показан пример полимера

в виде ленты (а), который сначала скрутили в спираль (b), а затем освещали светом с длиной волны < 260нм в течение часа, восстановив первоначальную форму (с). При этом температуру образца поддерживали постоянной с точностью 0.1°C.

Полимеры с термической памятью формы содержат две компоненты на молекулярном уровне: молекулярный переключатель, которым является сегмент, имеющий термический переход при определенной температуре и формирующий физические узлы, а также сегменты, связывающие полимерную сетку и отвечающие за сохранение ее формы при данной температуре.



В фоточувствительных полимерах переключателем являются фотоактивные молекулы, которые под действием света вступают в химическую реакцию. Когда полимер нагружен, сегменты формирующей сетки удлиняются. При освещении полимеров длинноволновым светом  $\lambda > 260\text{nm}$  удлиненные элементы этой сетки фиксируются в новом положении. При дальнейшем освещении коротковолновым светом  $\lambda < 260\text{nm}$  фотоактивные сегменты могут быть обратимо разорваны и полимер возвращается в исходное состояние (рис. 2). Авторы [3] наблюдали перераспределение амплитуды полос поглощения в спектре после облучения полимеров ультрафиолетовым светом. Это служит прямым доказательством того, что под действием длинноволнового излучения разрушаются двойные связи карбонильных групп и образуется циклобутановое кольцо. Последующее облучение коротковолновым светом приводит к разрушению циклобутанового кольца и восстановлению двойных связей. Свет с длиной волны больше 260нм в этих опытах выполняет роль «стрелочника», который разрывает и устанавливает химические связи в новом положении, более выгодном в напряженном внешней механической нагрузкой материале. Коротковолновое облучение, напротив, снимает химическую фиксацию, индуцированную предыдущим длинноволновым

облучением. Но поскольку внешние механические напряжения уже отсутствуют, форма полимера восстанавливается. Очевидно, что практические применения новых типов полимеров в первую очередь могут быть связаны с медицинскими целями.

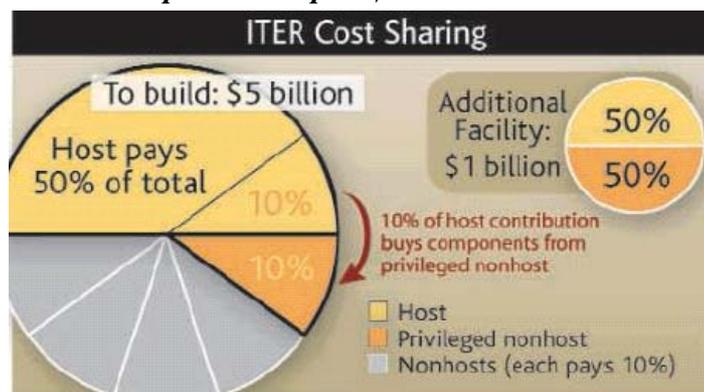
*Р. Моргунов*

1. *Laser Surg. Med.*, 2002, 30, 1
2. *Nature materials*, 2004, 3, 115
3. *Letters to Nature*, 2005, 434, 879

## ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

*Трудное согласие достигнуто.*

*ITER построят во Франции*



Претенденты на размещение термоядерного реактора (проект *ITER*) - Япония и ЕС, наконец, пришли к соглашению. Если верить европейским политикам и японским СМИ, самый дорогой на Земле эксперимент будет проводиться в Cadarache (Франция). Официально об этом будет объявлено в конце июня с.г. на встрече в Москве.

Цель *ITER* – воссоздать мощь Солнца на Земле. Изотопы водорода в быстрой реакции синтеза в сверх горячей плазме будут генерировать, грубо, в 10 раз большее тепло, чем необходимо затратить для работы реактора. Это гарантирует, что будущая термоядерная электростанция будет производить избыточное электричество. Строительство такого реактора – гигантский труд. На его конструирование уже затрачено 5 млрд. долл., и еще 6 млрд. долл. потребуется затратить в течение 30 лет на строительство, запуск реактора и создание дополнительной установки для испытания материалов реактора в условиях нейтронного облучения. Основную часть этих средств (3 млрд. долл.) должна будет внести страна, предоставившая свою территорию для размещения реактора. И, удивительно, за этот «приз» так долго и жаростно сражались Япония и ЕС.

Во время визита делегации ЕС в Токио 12 апреля с.г., встречи 2 мая в Люксембурге и затем в Женеве детали были согласованы. Страна, принимающая *ITER*, обеспечивает 50% от стоимости строительства, а другие 5 партнеров по *ITER* (Япония, Россия, Китай, США, Корея) внесут по 10% каждый. Большую часть этой суммы партнеры внесут в форме компонентов для реактора, произведенных в этих

странах, и доставки их к месту строительства. Япония согласилась уступить приз Франции на условии ее привилегированного партнерства в деле – она произведет 20% компонентов реактора, а ее 10% пай оплатит Франция. Кроме того, японские исследователи займут 20% ставок в штате *ITER* и на ее территории будет построен центр по исследованию долговременного влияния нейтронного облучения на реакторные материалы. Стоимость испытательной установки оценивается в 1 млрд. долл., а расходы на него поделит поровну Япония и Франция.

Достигнутая формула согласия между двумя претендентами (Япония и ЕС) будет еще согласована с остальными партнерами, что, очевидно, произойдет на знаменательной символической встрече в Москве – именно здесь 20 лет назад Президент Горбачев предложил западным лидерам работать вместе над глобальным исследовательским проектом термоядерного реактора. Цель совместной работы над столь глобальным проектом – снижение напряженности в мире - в этом проекте пока не достигнута, скорее противоположное – столько было недостойных скандалов среди, казалось бы, мировой научной и политической элиты.

*С.Корецкая*

*По материалам сообщения корреспондентов*

*Science - D. Clery и D. Normile*

*Science*, 2005, 308, 934

## КОНФЕРЕНЦИИ

**31st August - 5th September 2005.** Belfast, Northern Ireland, UK. A Joint EPSRC/CMI Summer School on Quantum Information Theory and Technology

**Invited speakers:** Steve Barnett (Strathclyde) - Quantum measurement; Caslav Brukner (Vienna) - Communication complexity; Artur Ekert (Cambridge) - Quantum cryptography; Tim Havel (MIT) - QIP with NMR systems and control issues; Terry Rudolph (Imperial) - Cluster states and Photonic quantum computation; Jeff Shapiro (MIT) - Quantum communication; Vlatko Vedral (Leeds) - Fundamental aspects of quantum information science; Ian Walmsley (Oxford) - Quantum information processing (QIP) with optics; David Williams (Hitachi) - Solid state architectures for QIP; Christof Wunderlich (Siegel) – QIP with trapped ions.

Details: [www.cambridge-mit.org/research/quantum](http://www.cambridge-mit.org/research/quantum)

## *На гребне волны*

В 2001 году большой интерес у читателей ПерсТа (вып. 5) вызвала публикация о том, как удалось увидеть волновую функцию электрона внутри квантовой точки. Этот яркий научный результат был получен сотрудниками ИПТМ РАН (Черноголовка) Е.Вдовиным, Ю.Ханиным и Ю.Дубровским вместе с английскими учеными из Nottingham University. Увидеть волновую функцию удалось с помощью метода туннельной спектроскопии: плоская волна электронов, проходящих через квантовую точку, расположенную между двумя туннельными

барьера, как бы снимает Фурье-образ волновой функции электрона в квантовой точке.

В недавней публикации [1] участвуют с российской стороны Ю.Дубровский, Е.Вдовин (ИПТМ) и В.Волков (ИРЭ), а также ученые из University of Nottingham, Grenoble High Magnetic Field Laboratory, University of Sheffield. Работа посвящена применению метода туннельной спектроскопии к изучению состояния неупорядоченной двумерной электронной системы. На рис. 1а представлена зонная диаграмма структуры без смещения. Высокий туннельный барьер разделяет две области двумерного газа. Приложение смещения  $V$  между слоями двумерного газа приводит к возникновению туннельного тока  $I$ . Поскольку вероятность туннелирования пропорциональна плотности состояний (точнее, туннельной плотности состояний), измерение вольт-амперной характеристики при малых смещениях несет информацию об этой плотности состояний в системе вблизи уровня Ферми. Дифференциальная проводимость  $dI/dV$  как раз пропорциональна плотности состояний при отклонении энергии на величину  $eV$  от уровня Ферми. На рис. 1б видно, как пик в плотности состояний при нулевом магнитном поле постепенно переходит в провал при увеличении магнитного поля.

Подобные особенности в туннельном токе наблюдались и раньше, например российскими физиками В.Долгополовым, Е.Девятовым и А.Шашкиным (ИФТТ РАН). Понижение плотности состояний на уровне Ферми они интерпретировали как проявление кулоновской щели, предсказанной А.Эфросом и Б.Шкловским для неупорядоченных электронных систем. Основной целью настоящей работы было выяснить, какую роль играет беспорядок в образовании щели. В настоящем эксперименте использовался электронный газ с очень низкой подвижностью. В нем происходит локализация электронов на флуктуациях потенциального рельефа. Локализация усиливается в магнитном поле, что вызывает резкое понижение плотности состояний на уровне Ферми. Эксперименты позволили впервые наблюдать переход от мягкой щели в спектре (плавный провал в плотности состояний) к жесткой щели (провал до

нуля в конечном интервале энергий вблизи уровня Ферми) при увеличении магнитного поля.

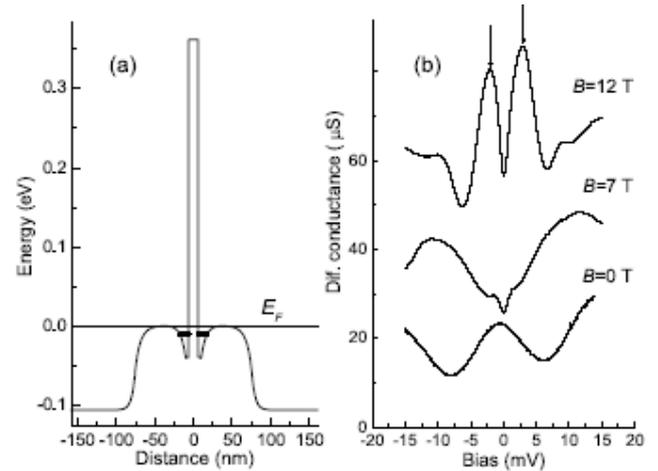


Рис. 1. Схематическое изображение зонной структуры без приложенного смещения (а) и измеренные зависимости дифференциальной проводимости от величины смещения для разных значений магнитного поля, перпендикулярного к слоям (б).

Работа дает существенный вклад в понимание процессов в сильно взаимодействующих электронных системах, которые, безусловно, являются одним из самых загадочных и увлекательных объектов современной физики.

1. <http://xxx.lanl.gov/abs/cond-mat/0501074>  
6 Jan 2005

*Редакция ПерсТа с глубокой скорбью восприняла известие о кончине Ю.В.Дубровского. Ушел из жизни выдающийся ученый и замечательный человек. В течение многих лет работы его научной группы были украшением многочисленных научных конференций и журналов. Прекрасные результаты укрепляли идею о том, что в науке по-прежнему много поэтического, а не только практического. Надеемся, что соратники Ю.В.Дубровского достойно продолжат исследования, и новые яркие результаты станут лучшей данью его памяти.*

*Редколлегия*

Экспресс-бюллетень ПерсТ выходит при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям РФ, Научных Советов Российских научно-технических программ: "Актуальные направления в физике конденсированных сред", "Перспективные технологии и устройства микро- и нанoeлектроники", "Физика твердотельных наноструктур"

Редактор: С.Корецкая тел: (095) 930 3389, e-mail: [stk@issp.ras.ru](mailto:stk@issp.ras.ru) Научный консультант: К.Кугель e-mail: [kugel@orc.ru](mailto:kugel@orc.ru)

В подготовке выпуска принимали участие: В.Вьюрков, А.Елецкий, М.Компан, Ю.Метлин, Р.Моргунов, Л.Опенев

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Ответственный за тираж: Ю.Мухин

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64<sup>а</sup>