

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ***Примесные резонансы и псевдощель в ВТСП***

Ключевым для высокотемпературной сверхпроводимости является вопрос о том, как формируется сверхпроводящее состояние. Если при охлаждении обычных сверхпроводников щель в плотности электронных состояний (являющаяся мерой энергии связи электронов в куперовских парах) открывается лишь при критической температуре T_c , то в ВТСП нормальное (несверхпроводящее) состояние оказывается “ненормальным”: щель (точнее, резкое уменьшение спектрального веса вблизи энергии Ферми) имеется даже при $T > T_c$. Такое состояние получило название “псевдощелевого”. И пока не вполне понятно, какова природа псевдощели и как она связана со сверхпроводящей щелью при $T < T_c$. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ) с высоким пространственным разрешением вроде бы свидетельствует о непрерывной эволюции величины щели при переходе через T_c (при $T > T_c$ исчезают лишь когерентные пики на краях щели). Если это действительно так, то псевдощель является предвестником сверхпроводящей щели, а псевдощелевое состояние отличается от сверхпроводящего лишь отсутствием фазовой когерентности куперовских пар.

В работе [1] американские и японские физики использовали СТМ для исследования так называемого “примесного резонанса” – резкого увеличения локальной плотности состояний в окрестности примесного атома. Этот резонанс, как показывают теоретические расчеты, обусловлен возникновением внутри d -волновой сверхпроводящей щели виртуального связанного состояния из-за разрыва куперовских пар при рассеянии на примеси. Все предыдущие эксперименты по примесному резонансу проводились на ВТСП $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ при $T \approx 4 \text{ K} \ll T_c$, то есть только в сверхпроводящем состоянии. Низкие температуры здесь требуются, чтобы избежать тепловых эффектов, “размывающих” резонанс. Авторы [1] задались целью проверить, что происходит с резонансом при повышении температуры выше T_c , когда сверхпроводящая щель исчезает. Они остановили свой выбор на передопированном ВТСП $\text{Bi}_{2-y}\text{Pb}_y\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+x}$ с низкой $T_c = 15 \text{ K}$, чтобы резонанс (если он сохранится при $T > T_c$) не расплывался из-за рассеяния на фононах. Иглу СТМ при этом фиксировали строго над примесным центром, расположенным в слое CuO_2 непосредственно под поверхностным слоем BiO . Результат оказался неожиданным. Не наблюдалось ни исчезновения резонанса (что можно было бы ожидать, если бы псевдощель при $T > T_c$ не имела бы никакого отношения к сверхпроводимости), ни его резкого уширения (которое имело бы место, если бы псевдощелевое состояние отличалось от сверхпроводящего только отсутствием когерентности). При $T > T_c$ резонанс остался практически таким же, как и при $T < T_c$ (см. рис.)! Таким образом, развеяна легенда о примесном резонансе как неотъемлемом атрибуте d -волнового сверхпроводящего состояния ВТСП. Выходит так, что для возникновения этого резонанса достаточно наличия в плотности состояний любой щели – не важно, сверхпроводя-

И далее ...

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 2 Квантовый компьютер в канале транзистора

Дырочные спиновые кубиты

- 3 Динамика запутанности

**НАНОСТРУКТУРЫ,
НАНОТЕХНОЛОГИИ**

- 4 К проблемам безопасности наноматериалов в России подходят серьезно

**СИНХРОТРОННОЕ
ИЗЛУЧЕНИЕ**

- 5 Настольный синхротрон

СПИНТРОНИКА

- 6 Спиновый конденсатор

**ФИНАНСИРОВАНИЕ
И РЫНОК**

- 7 Инвестиционный капитал движется к Солнцу

КОНФЕРЕНЦИИ

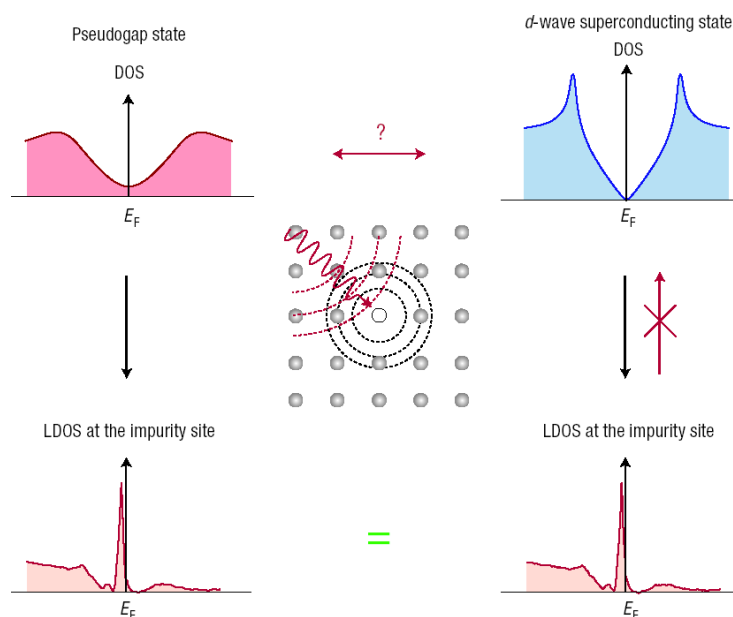
- 9 Second CoMePhS Workshop on Controlling Mesoscopic Phase Separation in Electronic Systems (COPSES 2008)

September 30 - October 4, 2008,
Nafplion, Greece

- 9 Joint European Magnetic Symposia (JEMS'08)
14-19 September 2008,
Dublin, Ireland

- 9 25th International Conference on Low Temperature Physics (LT25), August 6 - 13, 2008,
Amsterdam, Netherlands

шей или “псевдо”. Другое возможное объяснение состоит в том, что резонанс как-то связан с псевдощелью, которая является единственной энергетической щелью при $T > T_c$ и сосуществует со сверхпроводящей щелью при $T < T_c$. Нужно разбираться. И помочь здесь могут эксперименты с примесями различного типа – магнитными и немагнитными.



Плотность электронных состояний (DOS) и локальная плотность состояний (LDOS) на примесном узле в псевдощелевом (слева) и d -волновом сверхпроводящем (справа) состояниях. В центре – схематическая иллюстрация рассеяния “электронной волны” на примеси.

Л.Опенев

1. K.Chatterjee et al., *Nature Phys.* 4, 108 (2008).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Квантовый компьютер в канале транзистора

Проблема считывания результата вычислений является одной из основных в квантовом компьютере. Заманчиво использовать обычные микроэлектронные структуры для проведения подобного измерения. Идея измерять состояние зарядовых кубитов, помещенных рядом с каналом кремниевого полевого транзистора уже приходила в голову японским исследователям (ПерсТ, вып. 1/2, 2000г.). Недавно подобная идея, но уже по отношению к спиновым кубитам, посетила ученых из University of California (Беркли, США) [1]. Они предложили определять спиновое состояние электрона на атоме фосфора, помещенном в канал полевого транзистора, по величине тока. Величина тока определяется спин-зависимым рассеянием электронов проводимости на примесных атомах. Амплитуда этого рассеяния зависит не только от прямого кулоновского взаимодействия, но и обменного взаимодействия, которое определяется спиновым состоянием. К сожалению, знак обменного взаимодействия определяется полным спином системы из двух электронов. Если электроны имеют противоположную ориентацию

спинов вдоль оси z , то полный спин может быть равен как $S=1$, так и $S=0$. Другим препятствием является процесс взаимного переворота спина измеряемого электрона в результате рассеянии на нем пролетающего электрона. Этот процесс аналогичен эффекту Кондо. Последствия его таковы: мы еще не успели ничего измерить, а спин уже перевернулся. Чтобы подавить этот нежелательный процесс, авторы предлагают использовать сверхтонкое взаимодействие спина измеряемого электрона со спином ядра атома фосфора – тогда переворот спина измеряемого электрона запрещает закон сохранения энергии. Однако энергия сверхтонкого расщепления слишком мала (примерно 10^{-8} эВ), чтобы исключить переворот. Ее всегда можно взять из кинетической энергии электрона. К сожалению, в работе не представлен расчет самой величины эффекта даже в идеализированных условиях.

Но, как бы то ни было, для повышения чувствительности метода необходимо делать канал транзистора как можно уже. И тогда мы естественным путем приходим к идее измерения состояния спина с помощью тока в квантовой нити. Эту идею уже на протяжении многих лет разрабатывают российские ученые А.Орликовский, В.Вьюрков, А.Ветров (ФТИАН) и Л.Горелик (Chalmers University, Швеция). В последней работе [2] предложено использовать резонанс Фано для увеличения амплитуды рассеяния. В резонансных условиях коэффициент отражения может приблизиться к единице. А вот для подавления переворота спина в процессе измерения предлагается использовать спин-орбитальное взаимодействие. Энергия спин-орбитального взаимодействия может достигать в полупроводниках нескольких мэВ.

1. M.Sarovar et al., *arXiv:0711.2343*, 15 Nov (2007).

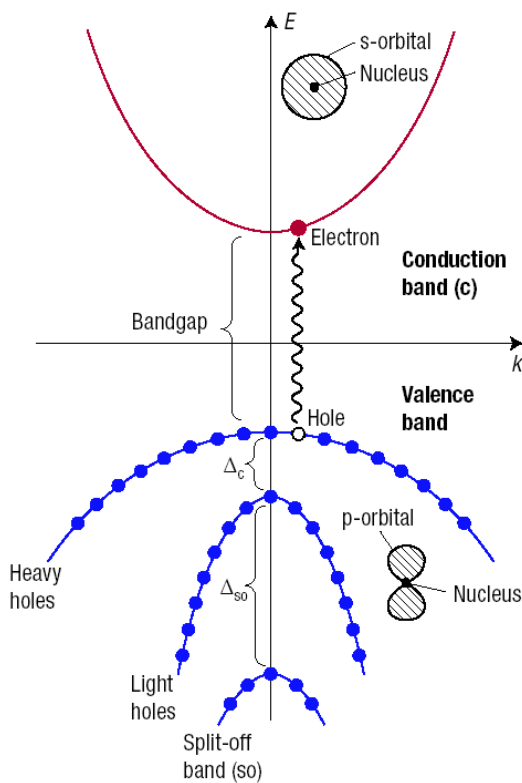
2. L. Gorelik et al. *Int. Symp. “Quantum Informatics 2007”*, Zvenigorod, Oct. 2007, *Book of Abstracts*, p. Q4.

Дырочные спиновые кубиты

Квантовые точки считаются одними из наиболее подходящих кандидатов в физические носители кубитов – как зарядовых, так и спиновых. При кодировании квантовой информации в электронные спины основными источниками релаксации и декогерентизации являются, соответственно, спин-орбитальное взаимодействие и сверхтонкое взаимодействие носителей с ядерными спинами. В квантовых точках на основе GaAs время спиновой релаксации T_1 очень велико и может достигать одной секунды, а время декогерентизации (дефазировки) T_2 на много порядков меньше. Есть основания полагать, что спины дырок (см. рис.) будут подвержены декогерентизации в гораздо меньшей степени. Это связано с тем, что электронные состояния в зоне проводимости GaAs образуются из атомных s -орбиталей, и поэтому их волновые функции имеют максимумы в окрестности ядер, тогда как состояния в валентной зоне образованы

ПерсТ, 2008, том 15, выпуск 4

p -орбиталями, имеющими пренебрежимо малые перекрытия с ядрами (а значит, и очень слабое сверхтонкое взаимодействие). Следовательно, величина T_2 для дырочных спинов должна быть существенно больше, чем для электронных. Однако для дырок спин-орбитальное взаимодействие очень велико, поэтому есть опасения, что теперь уже время релаксации T_1 будет очень маленьким. Однако последние результаты [1,2] обнадеживают: величина T_1 для дырочных спинов в квантовых точках InGaAs/GaAs достигает нескольких сотен миллисекунд. Согласно предсказаниям теории, в отсутствии сверхтонкого взаимодействия время декогерентизации T_2 должно быть порядка T_1 (точнее, $T_2 = 2T_1$). Если это окажется действительно так, то дырочные спиновые кубиты составят серьезную конкуренцию электронным.



Схематическое изображение электронной зонной структуры GaAs. Здесь Δ_{so} – расщепление за счет спин-орбитального взаимодействия, Δ_c – дополнительное расщепление в наноструктурах (например, квантовых точках) за счет эффектов размерного квантования.

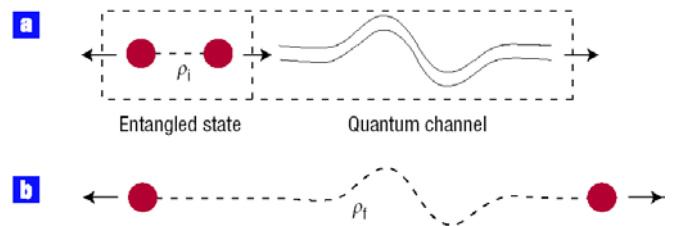
Л.Опенев

1. D.Heiss et al., *Phys. Rev. B* **76**, 241306 (2008).
2. B.D.Gerardot et al., *Nature* **451**, 441 (2008).

Динамика запутанности

Одним из главнейших ресурсов квантовой информатики является “запутанность” (entanglement) – нетривиальное проявление когерентной суперпозиции состояний составной квантовой системы. Для практических целей важно понимать, как запутанность отдельных частей системы изменяется при неконтролируемом воздействии на них внешнего

окружения. И, прежде всего, нужно разработать теоретические методы анализа процесса деградации запутанности. Этому вопросу посвящена работа [1] теоретиков из Южной Африки, Бразилии и Германии. Они рассмотрели пару кубитов, которые приготавливаются в начальном запутанном состоянии ρ_i , после чего один из них направляется в так называемый “квантовый канал” (термин для обозначения “устройства”, действующего согласно правилам квантовой механики и переводящим одно квантовое состояние в другое; квантовым каналом может быть и оптоволокно, по которому фотоны перемещаются между двумя точками в пространстве, и вентиль, осуществляющий операции с кубитами в квантовом компьютере, и просто окружающая среда, приводящая к декогерентизации). Под влиянием квантового канала состояние кубитов изменяется ($\rho_i \rightarrow \rho_f$) (см. рис.); изменяется и запутанность, количественной мерой которой для двух кубитов является “согласованность” C , равная единице для “максимально запутанного” (например, белловского) состояния, нулю для “полностью распутанного” состояния и принимающая значения $0 < C < 1$ в других случаях.



а) Источник создает пару кубитов в запутанном начальном состоянии ρ_i , после чего один из кубитов движется по квантовому каналу; б) под воздействием канала конечное состояние кубитов ρ_f становится “менее запутанным”, чем исходное.

Экспериментально начальное и конечное значение согласованности, $C(\rho_i)$ и $C(\rho_f)$ соответственно, можно определить, используя хорошо разработанную методику томографии квантовых состояний. После этого о степени ослабления запутанности можно судить по величине отношения $C(\rho_f)/C(\rho_i)$. Недостаток такого подхода заключается в его “неуниверсальности”: сложную процедуру определения $C(\rho_i)$ и $C(\rho_f)$ нужно всякий раз повторять заново для каждого нового начального состояния ρ_i (и получающегося в результате его эволюции состояния ρ_f). Авторы [1] поступили иначе. Сначала они проанализировали динамику изменения запутанности максимально запутанного состояния, а потом доказали, что для него отношение $C(\rho_f)/C(\rho_i)$ в точности такое же, как и для любого другого чистого начального состояния ρ_i . Величина этого отношения определяется только характеристиками квантового канала, но не типом состояния ρ_i . Для смешанных состояний ρ_i ситуация несколько иная: теперь уже $C(\rho_f)/C(\rho_i)$ для произвольного состояния ρ_i меньше либо равно своему значению для максимально запутанного состояния в

данном канале, то есть имеется ограничение сверху. Для обобщения результатов работы [1] на случай трех и более кубитов нужно сначала определить количественную меру запутанности таких состояний, чего пока сделать не удастся.

Л.Опенков

1. T.Konrad et al., Nature Phys. 4, 99 (2008).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

К проблемам безопасности наноматериалов в России подходят серьезно

Вопросам безопасности нанотехнологий и наноматериалов в мире уделяется все больше внимания, появляются разнообразные публикации (конечно, и в ПерсТе, см. [1]), организуются конференции (например, конференция по нанотоксикологии «Nanotox-2008» состоится в сентябре этого года в Швейцарии [2]). Очень важно, что в России, где разворачивается национальная программа по нанотехнологиям, эти вопросы также стали серьезно рассматриваться.

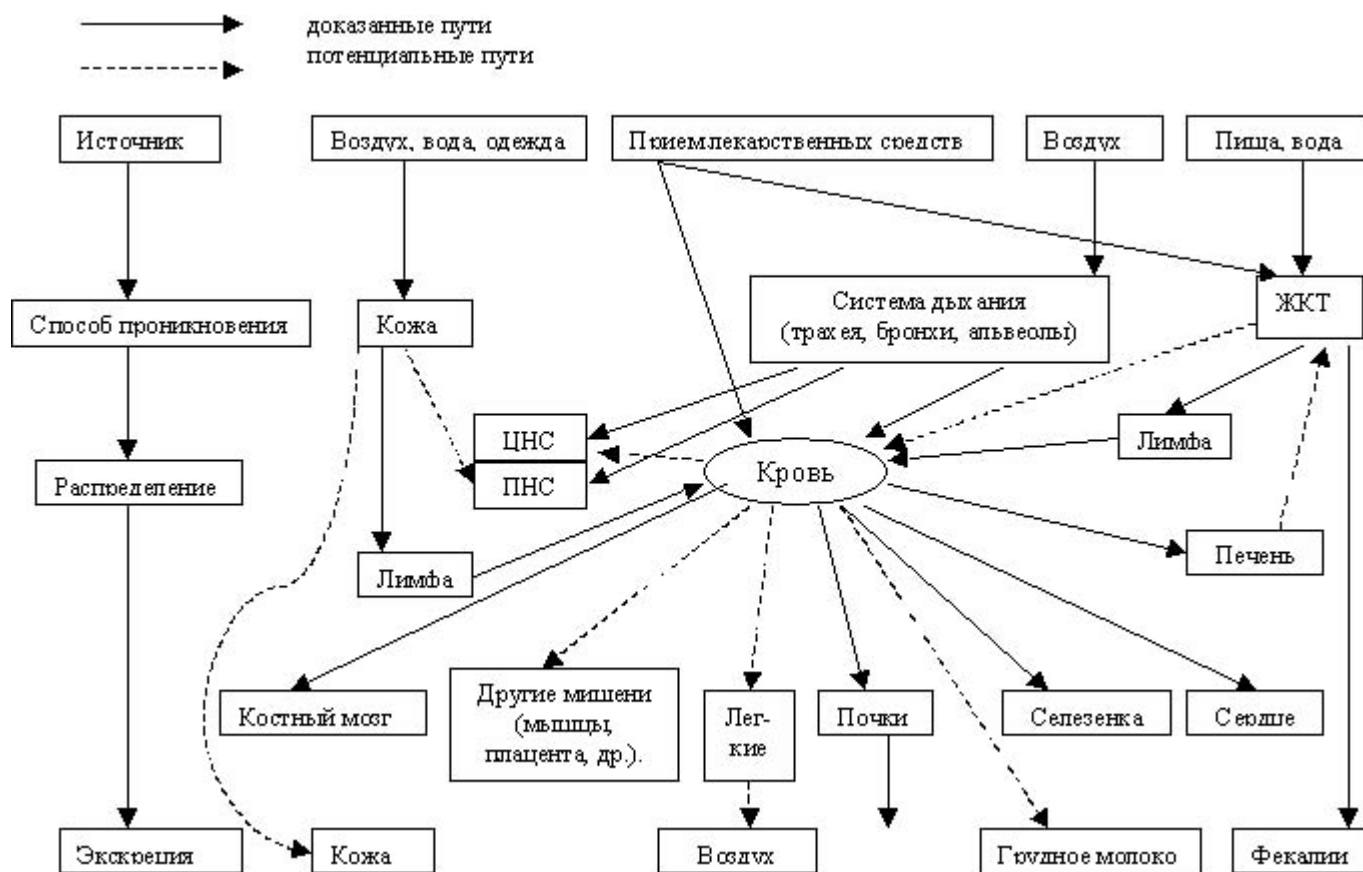
31 октября 2007 г. была утверждена **Концепция токсикологических исследований, методологии оценки риска, методов идентификации и количе-**

ственного определения наноматериалов, разработанная Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека совместно с ведущими научными центрами и НИИ РАМН, Минобрнауки РФ и Роспотребнадзора [3].

В Концепции дана характеристика новых свойств и поведения наноматериалов в окружающей среде и биологических объектах; рассмотрены особенности оценки риска производства и использования наноматериалов; представлен анализ сведений о безопасности производства и использования наноматериалов и определен порядок организации надзора и проведения токсикологических исследований наноматериалов.

Особое внимание должно быть обращено на разработку высокочувствительных и адекватных методов определения наноматериалов в объектах окружающей среды, пищевых продуктах и биосредах.

Обобщенная схема доказанных и возможных путей поступления наноматериалов в организм человека, их распределения и выведения из организма представлена на рисунке [3] (материалы на эту тему см. также в [1]).



Обобщенная схема путей поступления, распределения и выведения наноматериалов в организме человека [3]

В Концепции подчеркивается, что, несмотря на то, что наноматериалы уже используются более 10 лет, «ни один вид не был изучен в полном объеме на безопасность ни в одной из стран мира». Действительно, проведенные до сих пор исследования не позволяют точно оценить соотношение риск/польза наноматериалов.

Приведем в качестве примера результаты двух работ, посвященных изучению легочной токсичности углеродных наноматериалов (УНМ).

Эксперименты швейцарских ученых свидетельствуют о вредном воздействии УНМ на легкие человека [4], причем эффект зависит от размера и мор-

фологии наноматериалов. Авторы оценивали *in vitro* клеточную токсичность многостенных углеродных нанотрубок (МСНТ), углеродных нановолокон и наночастиц. Уже через 24 часа проявилось их вредное воздействие на живые клетки, количество жизнеспособных клеток уменьшилось; после 5 дней отличие от контрольного образца (не подвергнутого воздействию) стало еще более выраженным. Вопреки ожиданиям исследователей самыми токсичными оказались частицы сажи (наименьшее число живых клеток при всех концентрациях и временных периодах). Цитотоксичность МСНТ оказалась самой низкой, однако она возросла после химической обработки (кислотой) поверхности нанотрубок. Авторы признают, что механизмы, которые приводят к ингибированию роста клеток и к гибели клеток, не ясны. Возможно, гибель клеток происходит в результате контакта УНМ с клеточной мембраной, возможно – уже после локализации. Подчеркивается, что специального изучения требует вопрос канцерогенности (то есть преобразования нормальных клеток в клетки опухоли) УНМ. Авторы призывают к осторожному обращению с наноматериалами. А вот американские исследователи из University of Tennessee и Oak Ridge National Laboratory показали [5], что существуют углеродные наноматериалы, которые прекрасно подходят для доставки лекарств и не проявляют легочной токсичности. Это одностенные нанорожки. Эксперименты были проведены на мышах *in vivo*. Важным преимуществом этого материала, по мнению авторов, является чистота – он может быть синтезирован методом лазерной абляции графитовой мишени без использования катализаторов, частицы которых могут вызывать воспалительные отклики и окислительный стресс.

В заключение проинформируем читателей, что с 1 декабря 2007 г. в Российской Федерации введены в действие методические рекомендации «Оценка безопасности наноматериалов». Методические рекомендации разработаны «с целью обеспечения единого, научно-обоснованного подхода к оценке безопасности наноматериалов» и должны быть использованы на этапе разработки, а также при проведении санитарно-эпидемиологической экспертизы и государственной регистрации продукции, полученной с использованием нанотехнологии или содержащей наноматериалы [6].

О.Алексеева

1. ПерсТ 14, вып. 19, с.4 (2007).
2. 2d Int. Conf. Nanotoxicology, September 7-10, 2008, Zürich, Switzerland, www.nanotox2008.ch
3. <http://www.rospotrebnadzor.ru/docs/decision/?id=1532>
4. A. Magrez et al., Nano Letters 6, 1121 (2006).
5. R.M. Lynch et al., Nanotoxicology 1, 157 (2007).

6. <http://www.garant.ru/prime/20071203/4085510.htm>

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Настольный синхротрон

Источники синхротронного излучения представляют собой незаменимый инструмент для исследований в самых различных областях – физике, химии, биологии, медицине, материаловедении и пр. На аналогичных принципах основана и работа рентгеновских лазеров на свободных электронах (free-electron lasers, FELs), которые используются при изучении динамики химических реакций и биомолекулярных систем с беспрецедентным пространственным и временным разрешением. Но синхротроны и рентгеновские FELs – сооружения очень дорогие (стоимость каждого – порядка миллиарда долларов) и громоздкие (размеры ускорителя элементарных частиц составляют многие километры). В последние годы активно обсуждается идея создания так называемых “laser-wakefield” ускорителей, в которых огромные ускоряющие поля с напряженностью более 100 ГВ/м генерируются колебаниями плазмы, возникающими под действием интенсивного лазерного импульса и следующими за ним, как за кораблем, “в кильватере” (wake) со скоростью, близкой к скорости света. При этом заряженные частицы (электроны, протоны, ионы) ускоряются на длине всего несколько сантиметров, что дает основание для разговоров о новом поколении синхротронов и FELs – компактных и сравнительно дешевых.

Шаг в этом направлении сделан учеными из Германии, Великобритании и Южной Африки [1]. Лазерный импульс с мощностью 5 ТВт фокусировали на струе газообразного гелия шириной 2 мм, в результате чего формировался пучок электронов с энергиями $(55 \div 75)$ МэВ. Этот пучок направляли в ондулятор, состоящий из 50 периодически расположенных постоянных магнитов с $B_{\max} = 0.33$ Тл (см. рис.). Быстрые поперечные осцилляции электронов приводили к испусканию света с длиной волны $(550 \div 950)$ нм. Это – первая практическая демонстрация синхротронного излучения от электронного пучка, порожденного лазерным импульсом. Анализ полученных результатов показал, что средняя длина волны уменьшается при увеличении энергии электронов – в полном соответствии с теорией. Расчеты показывают, что увеличение длины ондулятора до 3 м (в работе [1] она составила около 1 м), а энергии электронов – до ~ 1 ГэВ (это возможно уже сейчас [2]) позволит уменьшить длину волны до 3 нм, а длительность импульса FELs – до 10 фс. И тогда не только у нескольких крупнейших научных центров, но и у многих университетов появится уникальная возможность изучать динамику процессов, происходящих на атомных масштабах.

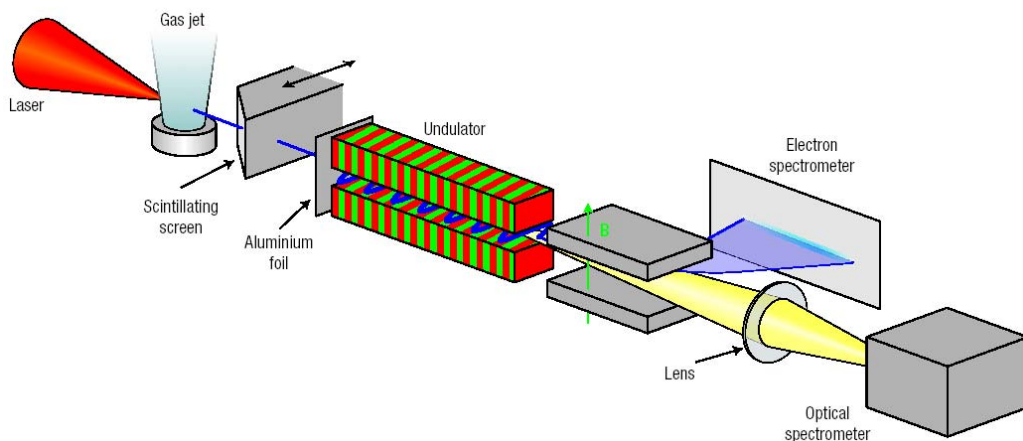


Схема экспериментальной установки.

1. H.-P.Schlenvoigt et al., *Nature Phys.* **4**, 130 (2008).
2. W.Leemans et al., *Nature Phys.* **2**, 696 (2006).

СПИНТРОНИКА

Спиновый конденсатор

Учеными из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре предложен способ создания конденсатора, в котором при подаче электрического напряжения на обкладки накапливался бы не только электрический заряд электронов, но и их спин [1]. Секрет состоит в том, что поверхность раздела магнитного металла и диэлектрика должна представлять собой эффективную *магнитоэлектрическую среду*.

Магнитоэлектрическими называют среды, в которых наблюдается намагниченность, индуцированная электрическим полем, а также обратный эффект — электрическая поляризация, индуцированная магнитным полем. Всплеск интереса к этому виду материалов, своего рода «магнитоэлектрический ренессанс», вызван, с одной стороны, развитием физики конденсированного состояния вещества и наук о материалах, позволяющих создавать среды с гигантскими магнитоэлектрическими эффектами [2], с другой стороны, все возрастающими запросами индустрии магнитной памяти, требующими замены индуктивных записывающих головок на емкостные элементы. Недостатками индуктивных элементов являются омические потери, перегрев, а при дальнейшем уменьшении размеров еще и электромиграция (перенос ионов металла при протекании электрического тока). Емкостные элементы лишены всех перечисленных недостатков и, кроме того, обладают еще одним несомненным преимуществом — лучшей совместимостью с планарной технологией. На настоящий момент известно три основных типа магнитоэлектрических материалов:

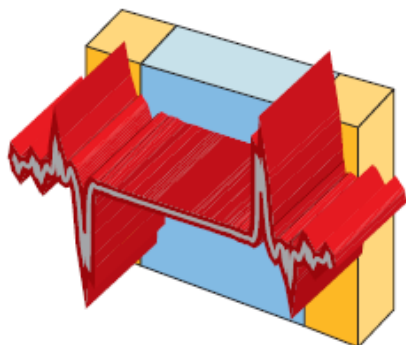
- естественные однофазные магнитоэлектрические материалы и мультиферроики (среды с электрическим и магнитным упорядочением), в которых магнитная и электрическая подсистемы одного и того же вещества связаны магнитоэлектрическим взаимодействием;

- композитные материалы, состоящие из пьезоэлектрической и магнитострикционной компонент: фазы, отвечающие за электрические и магнитные свойства, пространственно разделены, посредником же между ними служат механические напряжения [3, 4];
- структуры, устроенные по принципу полевого транзистора, в которых путем изменения с помощью электрического поля свойств разбавленного магнитного полупроводника изменяется сила ферромагнитного взаимодействия [5].

Авторы [1] предлагают еще один механизм, обусловленный носителями заряда на поверхности раздела диэлектрик/магнитный металл. С симметричной точки зрения магнитоэлектрический эффект становится возможным, поскольку в такой конфигурации одновременно нарушается симметрия относительно инверсии пространства и времени: в приповерхностных слоях на границе раздела двух сред отсутствует центр симметрии, а магнитное упорядочение в одной из них нарушает симметрию относительно обращения отсчета времени. Предлагаемое решение внешне сходно с композитными материалами, но отличается тем, что магнитная и электрическая подсистемы не разделены пространственно, а сосуществуют, хотя и в чрезвычайно тонком слое: электрическая поляризация распространяется в толщу магнитного материала на расстояние нескольких атомных слоев, делая его магнитоэлектрическим.

Численные расчеты авторов [1] показывают, что электрическое поле вызывает пропорциональное изменение намагниченности, знак которого зависит от электрической полярности и противоположен на двух обкладках конденсатора. Чтобы количественно характеризовать магнитоэлектрические свойства системы, авторы вводят безразмерный параметр, равный отношению заряда спин-поляризованных электронов ко всему заряду электронов накопленному на обкладках. Для пары материалов

$\text{SrRuO}_3/\text{SrTiO}_3$ эта величина составляет $\eta \sim 0.4$, а «спиновая емкость», т.е. отношение плотности спин-поляризованного заряда к напряжению порядка $C_s \sim 100$ фмФ/мкм² (соответственно, обычная емкость составляет $C_0 = C/\eta \sim 250$ фмФ/мкм²).



Спиновый конденсатор: диэлектрический материал (обозначен голубым цветом) зажат между обкладками из ферромагнитного материала (обозначены желтым). Красным показана плотность спин-поляризованных электронов, достигающая максимумов величины на поверхностях раздела и противоположная по знаку на противоположных обкладках конденсатора.

Несмотря на то, что данный эффект является пока результатом численного моделирования, уже мало кто сомневается в его существовании, поскольку *ab initio* методы расчетов достигли такого уровня развития, что начинают не просто объяснять экспериментальные результаты, но и предсказывать новые эффекты. Кроме того, в пользу существования описанного явления говорит недавно обнаруженный в электрохимических элементах с ферромагнитными электродами эффект перестраиваемого электрическим полем магнетизма [6].

В заключение стоит отметить, что данное явление служит иллюстрацией общей идеи о том, что поверхность материала обладает особыми свойствами. Как говорил нобелевский лауреат 2000 г. Герберт Кремер в своей лекции, суммирующей работы по полупроводниковым гетероструктурам: «Поверхность раздела двух сред сама по себе является устройством» (“the interface is the device”). Другим ярким примером проявления того же принципа может служить поверхность раздела двух непроводящих сред – перовскитов SrTiO_3 и LaAlO_3 , которая обладает металлическими [7] и даже сверхпроводящими [8] свойствами, результат тем более поразительный, что ни SrTiO_3 ни LaAlO_3 в объеме ни при каких температурах таких свойств не проявляют.

А. Пятаков

1. J.M. Rondinelli, et al, *Nature nanotech.* **3**, 46 (2008).
2. M.Fiebig, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **38**, R123 (2005).
3. G.Srinivasan, Y.K.Fetisov, *Integrated Ferroelectrics*, **83**, 89 (2006).
4. J.Zhai, J.Li, D.Viehland, M. Bichurin, *J. Appl. Phys.* **101**, 014102 (2007).
5. H Ohno, et al., *Nature* **408**, 944 (2000).
6. Weisheit M. et al., *Science* **315**, 349 (2007).

7. Ohtomo A., Hwang H.Y., *Nature* **427**, 423 (2007).

8. Reyren N. et al., *Science* **317**, 1196 (2007).

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Инвестиционный капитал движется к Солнцу

Где деньги, идущие сегодня в хайтек? Не в компьютерных чипах, но скорее в секторе «чистой технологии», особенно в солнечной энергетике. Так называемые «чистые технологии» становятся самым модным словечком в бизнесе и самой горячей областью инвестиций, опережая по объему вложений полупроводниковые и информационные технологии [1].

Судите сами. В январе с.г. правительство ОАЭ анонсировало выделение 15 млрд. долл. для исследований и разработок в области возобновляемой энергетики – Солнце, Ветер и Водород [2], приглашая присоединиться к его инициативе частные национальные компании, чтобы значительно увеличить эту сумму. Кроме того, правительство ОАЭ будет выделять *ежегодно* грант стоимостью 2.2 млн. долл. за самое блестящее инновационное решение в этой области.

18 февраля с.г. коалиция более 40 инвесторов США и Европы (включая American Airlines, Coca-Cola, Dell, Ford, General Motors, Macdonalds, Sun Microsystems), владеющих в сумме 1.75 трлн. долл. активами, заявила об инвестировании 10 млрд. долл. в «чистые технологии» в течение ближайших 2-х лет [2].

7 млрд. долл. вкладывают в развитие фотовольтаического производства в Fab City (вблизи Хайдарабада) национальные индийские компании (среди них, 3 млрд. долл. инвестировала SemIndia, дочернее предприятие американской AMD), а на рассмотрении в правительстве Индии еще несколько предложений по солнечной энергетике от различных компаний на общую сумму более 6 млрд. долл. [3].

Активно осваивают рынок солнечных элементов, растущий ежегодно на 30%, китайские компании – Nantong Qiangsheng Photovoltaic Technology открыла новую производственную линейку по выпуску тонкопленочных солнечных элементов на основе аморфного кремния и планирует установить в течение трех лет фотовольтаические станции во Внутренней Монголии, Тибете и китайской провинции Ксиньянг [4].

Не отстает и Южная Корея – компания KCC Corp. планирует инвестировать 339 млн. долл. в строительство завода по получению поликристаллического кремния (3000 т ежегодно), как исходного материала для производства солнечных элементов [5].

Сегодня на рынке фотовольтаических модулей доминируют три региона – Япония, как первый разработчик таких модулей, затем Европа (особенно, Германия) и США.

В Японии компания Sharp является самым большим в мире производителем солнечных панелей, в 2007 г. Sharp запустила производственную линию кремниевых тонкопленочных солнечных ячеек и инвестировала 925 млн. долл. в строительство еще одной новой фабрики [6].

В Германии компания Deutsche Solar имеет самое крупное в мире производство солнечных элементов на поликристаллическом кремнии, который позволяет создавать элементы с наиболее высокой эффективностью (15-16%).

В США – Sun Power Corp. (Калифорния), производитель высокоэффективных солнечных ячеек, солнечных панелей и солнечных систем, планирует к 2016 году достичь общую электрическую мощность произведенных солнечных элементов более 3 ГВт [7]. В 2008 г. Suntech планирует поставить потребителям фотовольтаических модулей общей мощностью 530 МВт [8]. Компания Sun Power Corp. продемонстрировала эффективность преобразования в солнечных ячейках до 20% [13].

К слову, интерес к солнечному рынку недавно проявила и компания Intel, которая готова инвестировать проект строительства самой большой «солнечной» фабрики в США, продвигаемый немецкой компанией Solar World [9].

На рынке в настоящее время доминирует поликристаллический кремний (80% рынка), другие 20% – аморфный кремний, CdTe и CdInSe.

Коммерчески выпускаются два типа фотовольтаических ячеек на кремнии – изготовленные в массиве поликристаллических кремниевых подложек (толщиной 150-180 мкм) и тонкопленочные на стеклянных подложках [10]. Первые в настоящее время имеют большую эффективность преобразования – поликремниевая ячейка в виде квадрата со стороной 156 мм генерирует до 3.5 Вт, в то время как тонкопленочная ячейка 6 мм х 1.2 м генерирует около 0,5 Вт.

Тонкопленочные элементы на основе соединений A^2B^6 – относительно новая продукция на рынке солнечных элементов. Компания Global Solar Energy Inc. (США) утверждает, что достигла прорыва в изготовлении солнечных ячеек на основе тонких пленок медь-индий-галлиевого селенида на гибких подложках с эффективностью преобразования 10% [13] и строит два новых завода (в США и Германии), планируя приступить к коммерческому выпуску ячеек общей мощностью до 65 МВт уже в текущем году.

Другие поставщики тонкопленочных солнечных ячеек на A^2B^6 – First Solar Inc. (ячейки на CdTe с эффективностью 10,5%) и United Solar Ovonic, а также стартапы – DayStar, HelioVolt, Iset, Miasole, Nanosolar, Solyndra.

Для солнечных элементов следующего поколения применяются нанотехнологические подходы.

Например, солнечные ячейки на основе тонких пленок (толщиной до 1100 нм) из легированных азотом наночастиц двуокиси титана (TiO_2/N) размером до 100 нм с добавлением CdSe квантовых точек разрабатываются совместной группой из University of California (Santa Cruz, США), Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo (Мексика) и Tsinghua University (Пекин, Китай) [11]. Это изучение прокладывает путь другим полупроводниковым квантовым точкам (например, PbSe и CdTe) и максимизирует эффективность «сбора излучения» в видимом и УФ диапазонах. Модель, если она окажется корректной, будет иметь важное применение для разработки солнечных ячеек, основанных на нанотехнологии материалов [12].

Солнечная энергетика станет реальностью, когда будет достигнут так называемый «сетевой паритет», т.е. стоимость электроэнергии, генерируемой солнечными панелями, сравняется с тарифами традиционной тепловой электростанции для данного региона. Основной фактор – исходная цена панелей, которая в значительной степени определяется стоимостью кремния.

Стоимость сегодняшней полупроводниковой электроники низкая не в последнюю очередь за счет использования подложек большого диаметра (переход от подложек диаметром 100 мм через 150 и 200 к 300 мм). То же самое с солнечными элементами. Так, сегодняшний стандартный размер стеклянных подложек для тонкопленочных кремниевых солнечных ячеек, используемых американской компанией Applied Materials Energy and Environmental Solutions – 5.7 м².

Самая большая сложность на рынке солнечных элементов – их стоимость. Самая низкая цена на электроэнергию от поликристаллического солнечного модуля в США – 4,28 долл. за ватт; для монокристаллического – 4,35 долл. за ватт; а для тонкопленочного – 3,66 долл. за ватт. Как правило, тонкопленочные модули будут стоить ниже кристаллических, но при этом они менее эффективны [13].

По некоторым оценкам сетевой паритет в богатых солнцем регионах может наступить в ближайшие 2 года, а по другим оценкам это может случиться только к 2030 г. [4].

В таблице представлены данные по электрической мощности, генерируемой солнечными ячейками, изготовленными верхней тройкой мировых производителей в 2006-2007 г.г. В последние годы растет как число компаний, включившихся в «солнечное» производство, так и генерируемые ими электрические мощности. Если еще недавно общую мощность, генерируемую солнечными ячейками всех компаний мира, оценивали в 4 ГВт, то сегодняшние оценки возросли до 15 ГВт.

Компания	Генерируемая мощность		Прирост
	2006 г.	2007 г.	
Q-Cells AG, Германия	253 МВт	370 МВт	+46%
Sharp, Япония	434,7 МВт	363 МВт	- 16,49%
Suntech Power Co., Китай	160 МВт	363 МВт	+127%

Предположительно емкость, генерируемая электростанциями США сегодня – между 500 ГВт и 1 ТВт. Пятнадцать 1 ГВт солнечных заводов, производящие вместе 15 ГВт в год, могут полностью заменить все другие генерирующие мощности в течение 40 лет, при условии, что требования не вырастут. На самом деле могут быть запущены не 15 заводов, а 50, тогда нужные объемы могут быть наработаны за 10-15 лет.

1. <http://www.eetimes.eu/206504080>
2. <http://www.eetimes.com/news/semi/showArticle.jhtml?articleID=206800281>
3. <http://www.eetimes.com/news/semi/showArticle.jhtml?jsessionid=ASC4AW2RBH4UYQSNLSCCKHA?articleID=206800125>
4. <http://www.semiconductor.net/article/CA6522334.html>
5. <http://www.semiconductor.net/articleXml/LN743858897.html>
6. <http://www.semiconductor.net/article/CA6533130.html>
7. <http://www.semiconductor.net/articleXml/LN744590381.html>
8. <http://www.eetimes.com/news/semi/showArticle.jhtml?articleID=206800751>
9. <http://www.semiconductor.net/articleXml/LN740336516.html>
10. <http://www.edn.com/blog/1690000169/post/1790021779.html>
11. J. Phys. Chem. C 2008, **112**, 1282
12. Materials today 2008, **11**, N 3, p. 10
13. <http://www.semiconductor.net/article/CA6533549.html?desc=topstory>

КОНФЕРЕНЦИИ

Second CoMePhS Workshop on Controlling Mesoscopic Phase Separation in Electronic Systems (COPSES 2008)
September 30 - October, 2008, Nafplion, Greece

Important Dates

Abstract Submission **28/04/2008**

Notification of Acceptance **31/05/2008**

Paper Submission **30/09/2008**

Early (reduced fee) registration **18/07/2008**

Contact: Prof. Efthymios Liarokapis

Telephone +30 210 7722930

Fax: +30 210 7723312

e-mail: eliaro@central.ntua.gr

Web: www.physics.ntua.gr/copses



Joint European Magnetic Symposia (JEMS'08)
14-19 September 2008, Dublin, Ireland

Important Dates

Deadline for abstract submission **20/04/ 2008**

Notification about abstract acceptance **01/06/2008**

Deadline for manuscript submission **01/08/2008**

Deadline for advance registration **18/07/2008**

Contacts

e-mail: kassoung@tcd.ie

Phone: +353-1-8961262

Fax: +353-1-6711759

Web: <http://www.jems08.ie/>

25th International Conference on Low Temperature Physics (LT25), August 6 - 13, 2008, Amsterdam, the Netherlands

- Quantum Gases, Fluids and Solids
- Superconductivity
- Quantum Phase Transitions and Magnetism
- Electronic Quantum Transport in Condensed Matter
- Cryogenic Techniques and Applications

Abstract Submission Deadline **15/04/2008**

Notification about Abstract Acceptance **30/04/2008**

Manuscript Submission Deadline **15/06/2008**

Online Registration Deadline **15/07/2008**

Web: <http://www.lt25.nl/>

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

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

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О.Алексеева, В.Вьюрков, Л.Опенков, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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