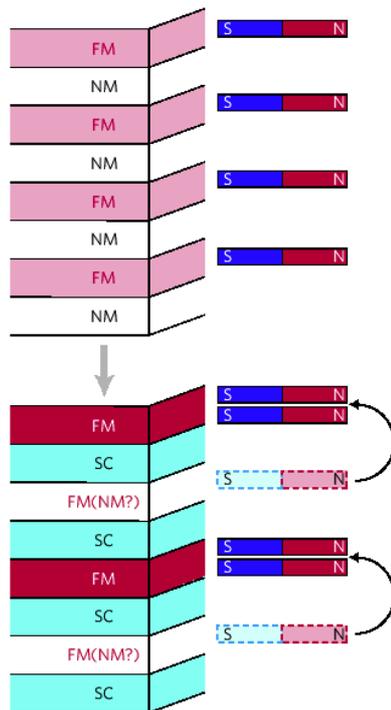


В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Гигантская модуляция ферромагнетизма в сверхрешетках из ВТСП и манганитов

В подавляющем большинстве известных сверхпроводников куперовские пары образованы электронами с противоположными спинами. В ферромагнетиках, напротив, все магнитные моменты ориентированы вдоль одного направления. Ферромагнитная среда неблагоприятна для сверхпроводимости: магнитные поля локальных моментов ослабляют связь между электронами в куперовских парах, что в конечном итоге приводит к подавлению сверхпроводящего порядка или даже к его полному исчезновению. В последние годы особое внимание уделяется искусственным гетероструктурам, образованным тонкими чередующимися слоями сверхпроводников и ферромагнетиков. Изменение параметров таких структур позволяет регулировать “взаимоотношение” сверхпроводящего и магнитного состояний. Так, например, была обнаружена осциляция критической температуры сверхпроводящих слоев T_c с ростом толщины ферромагнитного слоя [1].



Изменение намагниченности ферромагнитных слоев в сверхрешетке ВТСП/манганит при сверхпроводящем переходе (вверху – выше T_c , внизу – ниже T_c).

Возникает вопрос, а может ли сверхпроводимость, в свою очередь, как-то влиять на ферромагнетизм, сопротивляясь разрушающему ее магнитному полю? Оказывается, - да, может, причем весьма неожиданным образом. Исследование отражения нейтронов от сверхрешеток ВТСП $Y_{0.6}Pr_{0.4}Ba_2Cu_3O_{7-x}$ – манганит $La_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ с толщиной каждого слоя 10 нм показало [2], что охлаждение такой системы до температуры ниже величины T_c ВТСП приводит к удвоению периодичности расположения магнитных слоев вдоль оси роста (см.

рис.). При этом модулируется не просто ориентация намагниченности, а ее величина: в одних ферромагнитных слоях намагниченность исчезает, а в других – увеличивается в два раза. Это говорит о наличии такого взаимодействия между магнитными слоями, которое чувствительно к состоянию разделяющих их немагнитных (нормальных или сверхпроводящих) слоев. Но непонятно, с чем может быть связано такое взаимодействие. Ведь длина сверхпроводящей когерентности вдоль перпендикулярной границам раздела

И далее ...

- 2 Эффект Нернста и страйпы в ВТСП

СНОВА К ОСНОВАМ

- 2 Эти непростые металлы

МАГНИТЫ

- 3 “Нано-“ порождает “ферро-“

СПИНТРОНИКА

- 4 Молекулярные спиновые кубиты

- 5 Спираль продлевает жизнь? Спинам – да...

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 6 Побег из фуллерена

- 7 Сколько слоев лучше?

Биосенсор на основе углеродных нанотрубок

КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 3rd European School on Multiferoics (ESMF-3) September 7 - 11, 2009, Groningen, Netherlands

XII Международный, междисциплинарный симпозиум “Фазовые превращения в твердых растворах и сплавах” (ОМА-12)

XII Международный, междисциплинарный симпозиум “Порядок, беспорядок и свойства оксидов” (ODPO-12)

оси c составляет менее 1 нм, то есть как минимум на порядок меньше толщины каждого слоя. Такая вот загадка. Чтобы ее разгадать, нужно для начала изучить характер изменения электронных состояний таких сверхрешеток при понижении температуры. Сделать это можно, например, с помощью фотоэлектронной спектроскопии. Сами же авторы [2] полагают, что обнаруженный ими эффект связан с какой-то необычной конкуренцией сверхпроводящей и ферромагнитной фаз.

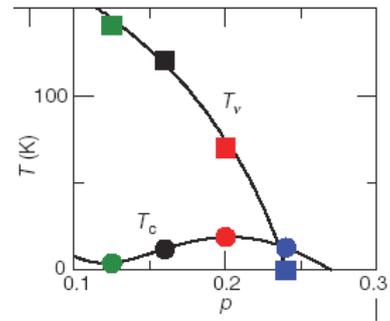
Л.Опенюв

1. *A.I.Buzdin, Rev. Mod. Phys. 77, 935 (2005).*
2. *J.Hoppler et al., Nature Mater. 8, 315 (2009).*

Эффект Нернста и страйпы в ВТСП

Если в металлическом образце создать градиент температуры (например, вдоль оси x) и поместить этот образец в магнитное поле (вдоль оси z), то в поперечном направлении (по оси y) возникнет разность потенциалов, то есть – электрическое поле. Этот эффект называется эффектом Нернста. Количественно он определяется коэффициентом Нернста ν в соотношении $E_y = \nu B(\partial T/\partial x)$. В однозонных металлах величина ν обычно мала, а в многозонных – напротив, велика, то есть эффект Нернста очень чувствителен к форме поверхности Ферми, что можно использовать для регистрации изменения топологии последней. Например, резкий рост ν в URu_2Si_2 сигнализирует о переходе металл – полуметалл.

До недавнего времени большую положительную величину ν в купратных ВТСП при $T > T_c$ объясняли флуктуационной сверхпроводимостью. Исследования, выполненные японскими, канадскими и американскими учеными [1], показали, что это не так (или, по крайней мере, не всегда так). При охлаждении ВТСП $La_{1.6-x}Nd_{0.4}Sr_xCuO_4$ ($T_c \approx 20$ К) увеличение ν начинается при температуре T_ν , примерно в два раза превышающей температуру T_{CO} , при которой (как показали исследования ядерного квадрупольного резонанса и дифракции рентгеновских лучей) в этом ВТСП формируется так называемый “страйповый порядок”. По мере понижения температуры до T_{CO} величина ν возрастает весьма значительно. В передопированных образцах, где страйпы отсутствуют, рост ν не наблюдался. Было показано, что сверхпроводящие флуктуации тоже дают вклад в ν , но при более низких, близких к T_c температурах. Аналогичные результаты получены в [1] и для ВТСП $La_{1.8-x}Eu_{0.2}Sr_xCuO_4$ (см. рис.). Авторы [1] делают вывод, что упорядочение страйпов сопровождается реконструкцией поверхности Ферми. Тот факт, что T_ν значительно выше T_{CO} , свидетельствует о сильных флуктуациях страйпов при $T > T_{CO}$. Представляет интерес детальнее изучить эффект Нернста в недоопированном ВТСП $YBa_2Cu_3O_y$, где, возможно, имеет место кардинальная перестройка дырочной поверхности Ферми, сопровождающаяся образованием электронных “карманов”.



Фазовая диаграмма $La_{1.8-x}Eu_{0.2}Sr_xCuO_4$ в координатах температура – концентрация дырок p . Страйповый порядок возникает при $p \approx 0.25$ и усиливается по мере уменьшения p .

1. *O.Cyr-Choinière et al., Nature 458, 743 (2009).*

СНОВА К ОСНОВАМ

Эти непростые металлы

Известно, что электронные свойства щелочных металлов (Li, Na, K, ...) очень хорошо описываются в рамках простейшей модели свободного электронного газа, согласно которой электроны не взаимодействуют ни с ядрами (они свободны), ни друг с другом (образуют газ). Даже такое грубое приближение (полностью пренебрегается дальнедействующим кулоновским взаимодействием в системе из очень большого числа частиц) приводит не только к качественному, но и к количественному согласию с экспериментом. Например, для лития энергия Ферми $\varepsilon_F = 4.70$ эВ, рассчитанная в рамках этой модели, практически совпадает с экспериментальной величиной $\varepsilon_F = 4.72$ эВ. Поэтому щелочные металлы называют “простыми”. Однако недавние эксперименты [1, 2] свидетельствуют о том, что их простота обманлива.

Японские физики из Osaka University показали [1], что при увеличении давления до $P \approx 80$ ГПа (почти миллион атмосфер) удельное сопротивление лития ρ при $T = 25$ К резко возрастает примерно на пять порядков величины (рис. 1а). При этом температурная зависимость $\rho(T)$ меняется с металлической на полупроводниковую (рис. 1б), а коэффициент прохождения света через образец увеличивается. Оценка ширины полупроводниковой щели E_g по зависимости $\rho \sim \exp(E_g/k_B T)$ дала очень маленькую (доли мэВ), но все же ненулевую величину E_g . Авторы [1] связывают переход металл-полупроводник с обнаруженной ими же в работе [3] цепочкой структурных переходов лития при высоком давлении (рис. 1а), а монотонный (вместо скачкообразного) рост ρ в диапазоне давлений $P = (70 \div 80)$ ГПа объясняют фазовой неоднородностью образца. Сходный эффект наблюдали и в работе [2], выполненной специалистами из России (геологический факультет МГУ), Китая, Швейцарии, Германии и США, которые обнаружили, что при $P \approx 200$ ГПа тонкие ($3 \div 5$ микрон) пластинки натрия становятся

прозрачными для видимого света, то есть переходят из металлического состояния в диэлектрическое.

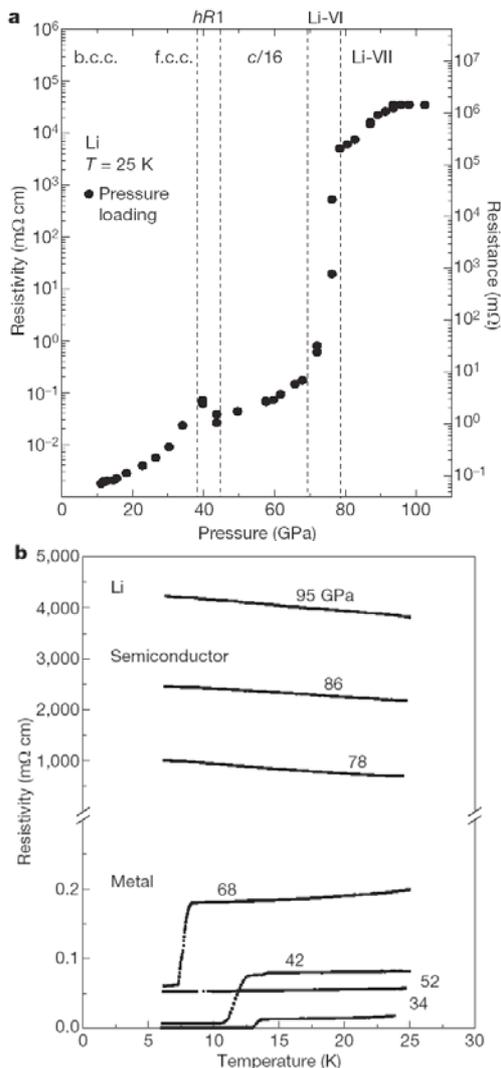


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления лития от давления при $T = 25$ К (а) и от температуры при различных давлениях (б). Вертикальные пунктирные линии разделяют фазы с разной структурой (по данным работы [3]).

Такое необычное поведение “простых” металлов при сжатии не вполне понятно, поскольку интуитивно можно было бы ожидать, что уменьшение межатомных расстояний приведет к увеличению ширины, как валентной зоны, так и зоны проводимости, в результате чего электроны станут “более свободными”, их концентрация увеличится, проводимость возрастет, а коэффициент прохождения света уменьшится. Как полагает Н.Ашкрофт, признанный авторитет в области физики твердого тела, на первый взгляд нет никаких оснований для перехода щелочных металлов в диэлектрическое состояние под давлением, даже с учетом возможности структурных переходов [4]. Но это лишь на первый взгляд. Выполненные в [2] численные расчеты показали, что при сильном сжатии натрий переходит в новую “дважды гексагональную” плотно упакованную фазу (рис. 2а), в которой сильное перекрытие электронных оболочек соседних атомов приводит к p - d гибридизации валентных электронов и их “вы-

талкиванию” в межатомное пространство, где они локализируются и не участвуют в проводимости. В электронном спектре при этом возникает большая диэлектрическая щель $E_g \approx 2$ эВ (рис. 2б). К сожалению, достоверных экспериментальных данных о кристаллической структуре сильно сжатых Li и Na в [1] и [2] получено не было. Кроме того, в [2] расчеты проводили для $T = 0$, тогда как переход металл-диэлектрик имел место при комнатной температуре. Так что вопросы остаются, и для окончательного прояснения причин непростого поведения простых металлов требуются дальнейшие совместные усилия теоретиков и экспериментаторов.

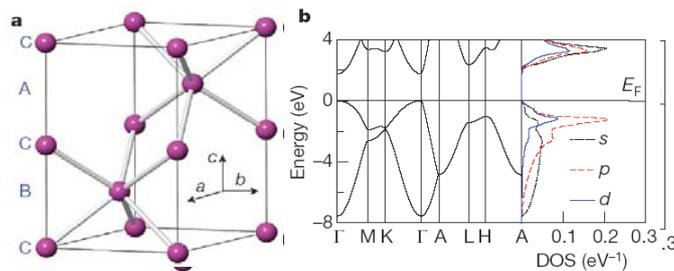


Рис. 2. Теоретический вид кристаллической (а) и электронной (б) структуры натрия при высоком давлении. Периоды решетки $a = b = 0.2784$ нм и $c = 0.3873$ нм.

Впрочем, нельзя сказать, что описываемые результаты оказались уж совсем неожиданными. В частности, указания на возможность перехода металл-диэлектрик в литии при высоких давлениях давали и эксперименты по ударно-волновому сжатию, и зонные расчеты (см., например, обзор [5]).

Л.Опенев

1. T.Matsuoka, K.Shimizu, *Nature* **458**, 186 (2009).
2. Y.Ma et al., *Nature* **458**, 182 (2009).
3. T.Matsuoka et al., *J. Phys.: Conf. Ser.* **121**, 052003 (2008).
4. N.W.Ashcroft, *Nature* **458**, 158 (2009).
5. Е.Г.Максимов, М.В.Магницкая, В.Е.Фортвов, *УФН* **175**, 793 (2005).

МАГНИТЫ

“Нано-“ порождает “ферро-“

Около полувека назад один из классиков магнетизма Луи Неель заметил, что хотя спины атомов в антиферромагнитных материалах полностью компенсируют друг друга, в малых частицах нанометровых размеров эта компенсация уже может быть неполной: из-за неравного количества атомов двух магнитных подрешеток частица приобретает отличный от нуля магнитный момент. Действительность даже превзошла эти ожидания: при уменьшении размера объектов ферромагнетизм становится едва ли не универсальным свойством. Магнитными свойствами обладают не только антиферромагнитные частицы, в которых скрытый магнетизм в буквальном смысле “выходит на поверхность”, но и наночастицы из немагнитных материалов. Более того, ферромагнитные свойства проявляют даже материалы, в которых уже

существует другой тип упорядочения, плохо совместимый с магнитным, как это имеет место в сегнетоэлектриках, а то и вовсе исключаящий его, как в сверхпроводниках. Об этом обзор с названием "Ferromagnetism as a universal feature of inorganic nanoparticles" (Ферромагнетизм как универсальное свойство неорганических наночастиц), опубликованный в журнале Nano Today [1].

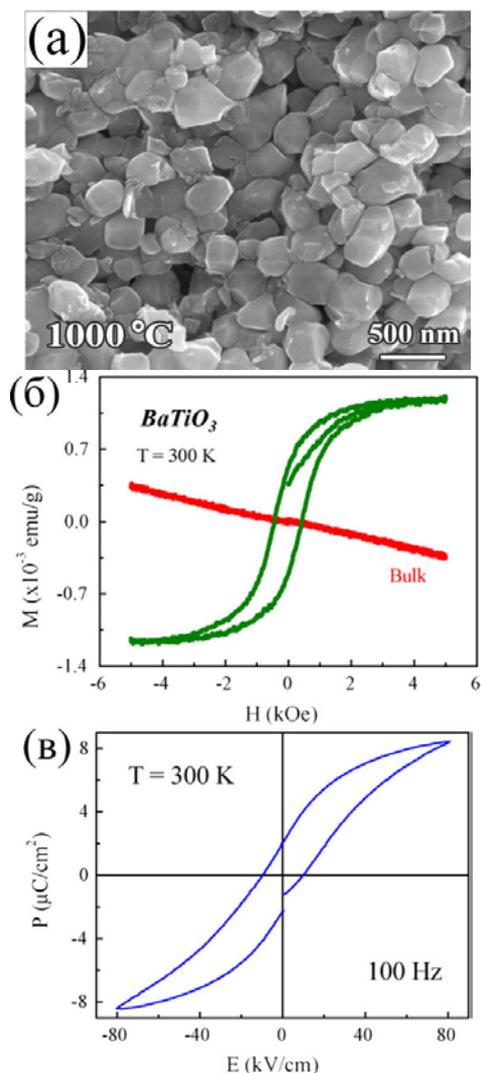


Рис. 1. Наночастицы $BaTiO_3$ проявляют свойства мультиферроика: а - изображение наночастиц в сканирующем электронном микроскопе; б - петли магнитного гистерезиса (bulk - диамагнитная зависимость для объемного материала); в - диэлектрический гистерезис.

В качестве примера на рисунке приведены наночастицы титаната бария $BaTiO_3$ (а) и кривые магнитного (б) и диэлектрического гистерезисов. Вид кривых позволяет говорить о том, что в данном материале магнитный и сегнетоэлектрический порядок сосуществуют, то есть он является мультиферроиком (см. [2]). Заметим, что в объемном состоянии титанат бария является диамагнитным материалом.

Как полагают авторы, причиной возникновения являются кислородные (в общем случае, катионные) вакансии на поверхности частицы. В объемном материале концентрация этих дефектов на три порядка меньше, чем требуется для установления маг-

нитного порядка, а на поверхности, где энергия образования вакансии меньше, их концентрация может оказаться достаточной: отдельные магнитные островки сливаются, и ферромагнитный порядок устанавливается по всей поверхности. Немаловажную роль здесь играет и тот факт, что доля поверхностных атомов возрастает с уменьшением размеров частицы.

Свойства поверхности частицы могут сильно отличаться от свойств ее сердцевины: будучи снаружи ферромагнитной, она может оставаться парамагнитной или диамагнитной внутри. Так, поверхностный ферромагнетизм уживается даже со сверхпроводимостью.

Однако в случае мультиферроиков роль кислородных вакансий неоднозначна: с одной стороны они являются источником ферромагнетизма, с другой – проводимости, заметно ухудшая диэлектрические и сегнетоэлектрические свойства материала в целом. Именно кислородные вакансии послужили в свое время причиной недоразумений при исследовании пленок самого популярного мультиферроика – феррита висмута $BiFeO_3$. В первоначальных сообщениях, ставших спусковым механизмом бума исследований $BiFeO_3$, говорилось о величинах намагниченности в десятки раз больших, чем могло быть вследствие слабого ферромагнетизма [3]. Позднее исследования более аккуратно приготовленных пленочных образцов, а также монокристаллов феррита висмута в сильных магнитных полях позволили отделить собственные магнитные свойства вещества от паразитных [4].

Схожая ситуация может быть и с магнитными полупроводниками. Многие из них оказались мнимыми ферромагнетиками (см. [5]), слабый магнитный момент в них ($\sim 10^{-4}$ emu/g) может быть вызван различными паразитными эффектами, в том числе и образованием поверхностных дефектов.

Таким образом, явление, которое в случае объемных материалов относится к числу паразитных, в наночастицах выходит на первый план и может быть причиной сильно выраженных ферромагнитных свойств.

А.Пятаков

1. A.Sundaresan, C.N.R.Rao, *Nano Today* 4, 96 (2009).
2. *ПерсТ* 13, вып. 10, с.4 (2006).
3. J.Wang et al., *Science* 299, 1719 (2003).
4. A.M.Kadomtseva et al., *Phase Transitions* 79, 1019 (2006) (arXiv:0812.0484).
5. *ПерсТ* 13, вып. 15/16, с. 7 (2006).

СПИНТРОНИКА

Молекулярные спиновые кубиты

Несовершенство искусственных нанометровых объектов, например, квантовых точек, поддерживает мечты об использовании эталонных природных объектов, таких как атомы и молекулы. Недавно исследователи из University of Manchester (Велико-

британия) [1] обратили внимание на особые спиновые молекулярные кластеры, содержащие один ион никеля Ni^{2+} и семь ионов хрома Cr^{3+} . Основное состояние таких кластеров отвечает спину $S=1/2$ и может быть использовано в качестве спинового кубита. Измерение времени декогерентизации с помощью методики электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) дало весьма большое время. Само по себе это, конечно, приятно, но было необходимо показать, что за это время можно выполнить большое число квантовых операций, включающих управление состоянием отдельных кубитов, а также выполнение операций между двумя кубитами.

Управление состоянием кубитов можно осуществить с помощью ЭПР, т.е. посылая на систему определенные электромагнитные импульсы. Показано, что эту процедуру можно провести многократно за время декогерентизации. Далее возникает проблема адресации к отдельным кубитам. Авторы предлагают высаживать молекулы на подложку и далее, видимо, управлять электродами. Однако в молекулярной электронике проблема электродов столь малых размеров пока не решена. Весьма часто средством адресации к отдельным спиновым кубитам называют пространственный градиент магнитного поля, который задает у каждого кубита свою частоту ЭПР. Однако требуемый градиент пока невозможно создать.

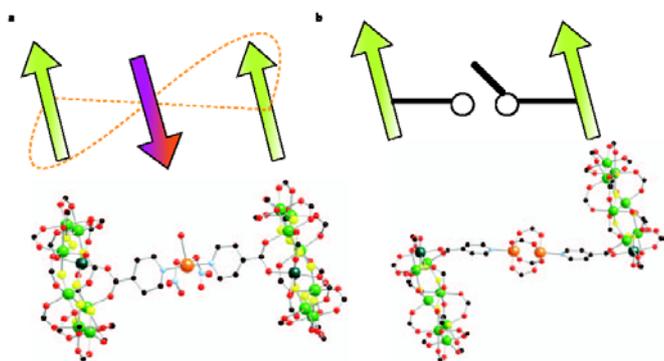


Рис. 1. Два спиновых кластера, связанные звеном, содержащим один ион меди Cu^{2+} (a) и два иона меди (b).

Для выполнения операций с двумя кубитами необходимо обеспечить взаимодействие между ними. Предложено в качестве связи между отдельными кластерами использовать особые молекулы, содержащие один или два иона меди Cu^{2+} (рис. 1). Один ион меди сам является спиновым кубитом (рис. 1a). Изменяя его состояние, можно управлять взаимодействием между кластерами. Если ионов меди два, то возможности значительно расширяются. Основное состояние связующей молекулы синглетное, полный спин равен нулю. Взаимодействие между кластерами при этом выключено. Если возбудить молекулу с помощью электромагнитного импульса в возбужденное ферромагнитное состояние со спином $S=1/2$, то в этом случае включается взаимодействие между кластерами. Это, конечно, далекие перспективы. А пока экспериментально определена

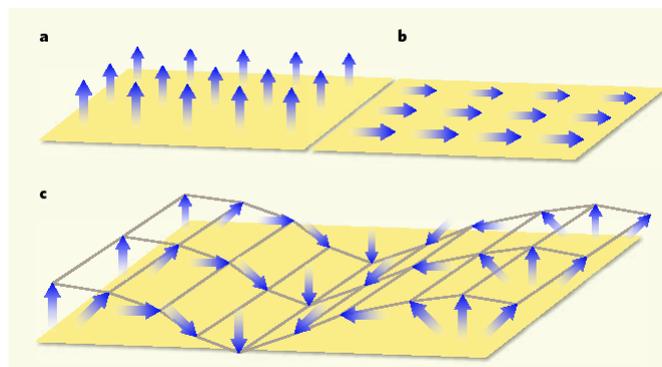
сила взаимодействия между кластерами для различного состояния связующей молекулы. Авторы работы измеряли теплоемкость и показали, что она значительно отличается.

В.Вьюрков

1. G.A.Timco et al., *Nature Nanotech.* 4, 173 (2009).

Спираль продлевает жизнь? Спином – да...

Спин и заряд – два неотъемлемых атрибута каждого электрона. В отличие от заряда, спин (точнее – его проекция) не фиксирован, а может быть направлен как “вверх”, так и “вниз”. В полупроводниках спин переворачивается очень быстро, что связано со спин-орбитальным взаимодействием, из-за которого изменение скорости электрона при рассеянии неизбежно приводит к изменению ориентации его спина. Как следствие, время спиновой релаксации оказывается слишком маленьким для использования полупроводников в спинтронике. Можно ли придумать какой-то другой, более хитроумный способ продлить спином жизнь, нежели просто улучшить качество образцов и понижать температуру?



Путем облучения лазером спины всех электронов в полупроводниковой квантовой яме можно ориентировать перпендикулярно (a) или параллельно (b) плоскости ямы. В обоих случаях спин-орбитальное взаимодействие быстро разрушает спиновый порядок. Комбинация поперечной и продольной ориентации отвечающая спиральной волне (c) позволяет увеличить время спиновой релаксации на два порядка.

Оказывается, можно. Как показано в работе физиков из нескольких исследовательских центров США [1], выход состоит не в том, чтобы пытаться ликвидировать источник спин-орбитального взаимодействия (что вряд ли в принципе возможно), а в том, чтобы добиться такого соотношения двух его составляющих (Рашбы и Дресселхауса), при котором, как предсказывает теория [2], время релаксации спина максимально. Этого можно достичь, регулируя анизотропию квантовой ямы (GaAs/AlGaAs в [1]) с целью сделать неэквивалентными две ориентации спина в плоскости ямы и “закручивая” спины в спираль путем воздействия на образец двумя неколлинеарными лазерными пучками, линейно поляризованными в ортогональных направлениях (см. рис.). Время жизни формирующейся в итоге коллективной волны спиновой ориентации

примерно в 100 раз больше, чем у отдельных спинов. И с точки зрения теории это не предел!

1. J.D.Koralek et al., *Nature* **458**, 610 (2009).

2. B.A.Bernevig et al., *Phys. Rev. Lett.* **97**, 236601 (2006).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Побег из фуллерена

Поместить атом или химическое соединение внутрь молекулярного контейнера – идея сама по себе очень заманчивая и, конечно, нелишенная перспектив. В роли “хозяев” рассматриваются целые классы структур: цеолиты и карцеранды (carcerand, лат. *carcer* – темница, тюрьма). Однако среди всего этого многообразия особое место занимают эндоэдральные комплексы на основе фуллеренов. Сравнительно новый способ получения открытых фуллеренов основан на так называемой “молекулярной хирургии”, когда посредством серии химических реакций в углеродном остове образуется отверстие. Исследователи из Йельского университета (США) использовали в своей работе [1] именно такие, химически “вскрытые” фуллерены с двадцати- и шестнадцатичленными кольцами. Цель работы [1] заключалась в анализе реакций внедрения и выхода атомов благородных газов (Ne, Ar, Kr) и малых молекул (CO, N₂).

Реакции внедрения проводили следующим образом. Открытые фуллерены с двадцатичленными кольцами (рис. 1) растворяли в соответствующем растворителе (для Ar, CO и N₂ использовали 1,1,2,2-тетрахлорэтан, а для Kr – *o*-дихлорбензол). Затем полученный раствор помещали в сосуд высокого давления, сжимали вместе с исследуемым газом и выдерживали в течение нескольких часов при необходимой температуре (для Kr – 190°C, для CO – 100°C, для Ar и N₂ – 140°C). После чего давление сбрасывали, и образец охлаждали. Продукты реакций внедрения и их концентрацию определяли с помощью электрораспылительной масс-спектрометрии (ESI-MS) и ЯМР-спектроскопии. Для анализа кинетики реакций выхода образцы растворяли в дейтерированном хлороформе (CDCl₃) и помещали в ЯМР-трубки. После получения исходных ЯМР-спектров образцы нагревали в масляной бане, и снимали последующие ЯМР-спектры. Процесс повторяли до тех пор, пока весь газ не выходил из фуллеренов. Авторы отмечают, что для Ne в качестве “хозяев” использовали открытые фуллерены с шестнадцатичленными кольцами (рис. 2), т.к. отверстие входа/выхода у фуллеренов с двадцатичленными кольцами оказалось настолько “широким”, что реакции внедрения и выхода для Ne протекали очень быстро даже при комнатной температуре. Исходный материал (несколько миллиграммов открытых фуллеренов с шестнадцатичленными кольцами) упаковывали в алюминиевую фольгу и помещали в автоклав высокого давления. Автоклав

был наполнен Ne при 500 атм. Образец нагревали до 180°C, давление при этом поднималось до 825 атм. По истечении девяти часов автоклав охлаждали, и образец вынимали. При этом данные ESI-MS свидетельствовали о том, что 42% фуллеренов содержат Ne. Для анализа реакции выхода образец растворяли в *o*-дихлорбензоле и нагревали до 120°C и более высоких температур.

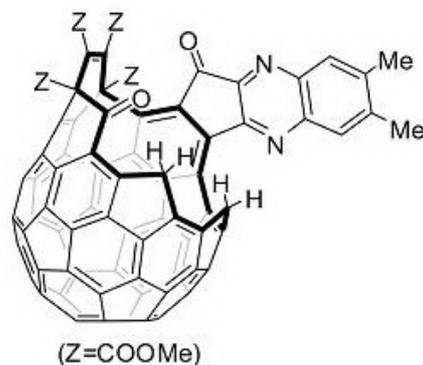


Рис. 1. Химически открытый фуллерен с двадцатичленным кольцом

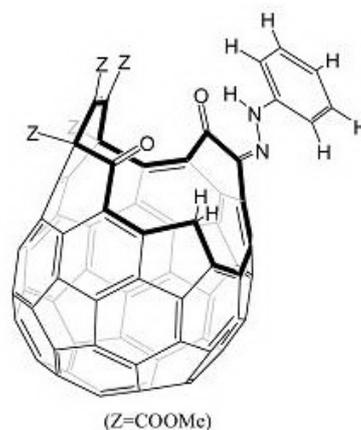


Рис. 2. Химически открытый фуллерен с шестнадцатичленным кольцом

В итоге авторам удалось получить константы равновесия K_{eq} для реакций внедрения. Для Ar K_{eq} оказалась достаточно высокой. По мнению авторов, это связано с сильным ван-дер-ваальсовским взаимодействием между атомами Ar и фуллереновой клеткой. Кроме того, были детально исследованы реакции выхода: построены аррениусовские зависимости для скорости протекания реакции и определены энергии активации и частотные факторы. На величину энергии активации оказывают влияние два фактора: размеры внедренного соединения и “ширина” входного/выходного отверстия. Неожиданным результатом работы авторы считают малые величины частотных факторов. Возможно, это обусловлено тем, что внедренные атомы или молекулы газа не связаны с внутренней поверхностью фуллере-на. Таким образом, именно ван-дер-ваальсовское взаимодействие является определяющим для исследуемых реакций.

М.Маслов

1. Ch.M.Stanisky et al., *J. Am. Chem. Soc.* **131**, 3392 (2009).

Сколько слоев лучше?

Монослой углерода (графен) интенсивно исследуется как перспективный материал нанoeлектроники. Самые первые эксперименты с графеном были выполнены с помощью осаждения чешуек графита на подложку SiO₂. Измерения проводимости достаточно хорошо согласуются с зонной структурой графена, которая была теоретически предсказана много лет назад (рис. 1, вверху). Зона проводимости и валентная зона выглядят как два конуса, соприкасающиеся в т.н. дираковской точке. Запрещенная зона отсутствует. Для практических применений именно этот факт оказался прискорбным: транзистор на основе графена не имеет закрытого состояния, что необходимо для схем логики. При изменении потенциала на затворе проводимость графена просто переходит от электронной к дырочной и наоборот.

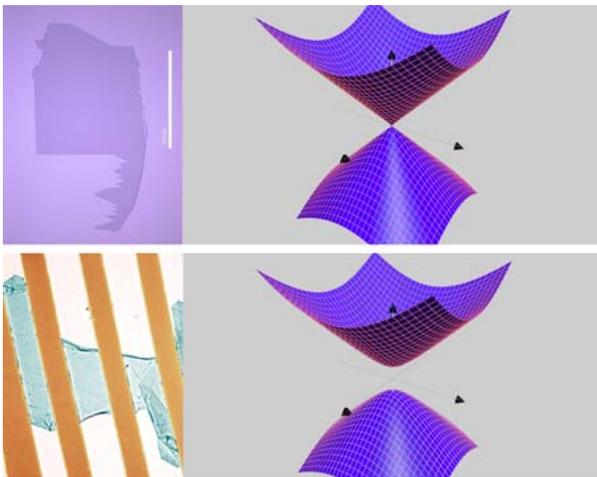


Рис. 1. Графен, лежащий на подложке SiO₂ имеет коническую зонную структуру (вверху), графен, подвешенный на электродах может находиться в диэлектрическом состоянии (внизу).

Однако, недавние расчеты, проведенные в Ohio State University (США) [1], показывают, что в подвешенном состоянии (рис. 1, внизу), графен должен иметь запрещенную зону. Авторы учли сильное кулоновское взаимодействие между электронами, которое может приводить к переходу в изолирующее состояние. Отношение энергии кулоновского взаимодействия к кинетической энергии электронов в графене имеет универсальное значение, равное постоянной тонкой структуры $e^2 / \hbar c$, с той лишь разницей, что здесь требуется подставить скорость квазичастиц в графене, которая в 300 раз меньше скорости света. Поэтому постоянная тонкой структуры в графене составляет величину не 1/137, а в 300 раз больше, т.е. больше 1. Если графен лежит на подложке SiO₂, то из-за экранирования кулоновское взаимодействие ослабляется. Пока, однако, изолирующее состояние подвешенного графена не наблюдали в эксперименте.

Как известно, существует и другой способ создания запрещенной зоны, а именно, использовать двухслойный графен. Интересным обстоятельством яв-

ляется управление шириной запрещенной зоны с помощью поперечного электрического поля, создаваемого затвором.

В настоящее время есть возможность регулирования количества слоев графена, когда он выращивается эпитаксиально. Это послужило стимулом для расчетов зонной структуры трехслойного графена, выполненных в Tokyo Institute of Technology (Япония) [2]. Как показали расчеты, в этом случае также имеется запрещенная зона, но ее поведение в зависимости от напряжения на затворе совершенно противоположно случаю двойного графена: с увеличением напряжения ширина запрещенной зоны уменьшается. Будем ждать экспериментов.

В.Вьюрков

1. *J.E.Drut, T.A.Lahde, Phys. Rev. B 79, 165425 (2009).*
2. *M.Koshino, E.McCann, Phys. Rev. B 79, 125443 (2009).*

Биосенсор на основе углеродных нанотрубок

Перспективы использования углеродных нанотрубок (УНТ) в качестве основы для создания миниатюрных биосенсорных устройств связаны с их малыми размерами, а также с высокой чувствительностью электронных характеристик к присутствию на поверхности молекул различного типа. Еще одно преимущество УНТ связано с возможностью их применения в устройствах для анализа жидкофазных субстанций, состав которых также влияет на параметры нанотрубки. Заметный прогресс в развитии бионаносенсоров на основе УНТ продемонстрирован недавно группой исследователей из Университета шт. Иллинойс (США), которым удалось придать лабораторному устройству приборное воплощение. Для приготовления данного устройства в конфигурации полевого транзистора использовали однослойные УНТ в виде порошка и микрокапилляров из полидиметилсилоксана (PDMS), смешанного со смолой в отношении 10:1. УНТ порошок в течение 2 часов подвергали термической обработке при 900°C с целью удаления с поверхности нанотрубок карбоксильных групп, которые могли вызвать утечку тока на опорный электрод. Далее готовили суспензию, содержащую УНТ с содержанием 0.1 мг/л в 1% водном растворе додецилсульфата натрия, которую в течение 1 часа центрифугировали при скорости 14000 об/мин для удаления недиспергированных жгутов. В результате вакуумной фильтрации этой суспензии образовывались пленки УНТ. Поверхностное сопротивление такой пленки определяется фильтрационным объемом, а, следовательно, плотностью сформированной сети УНТ. Пленки, удельное сопротивление которых превышает 300 Ом/см², использовали в качестве транзисторного канала, в то время как пленки с удельным сопротивлением свыше 1000 Ом/см² – для изготовления контактов. Пленку первого типа с помощью штамповки переносили на PDMS подложку, содержащую микрожидкостный канал.

Процесс сборки устройства завершался соединением двух PDMS носителей. Устройства тестировали при приложении затворного напряжения к опорному электроду и небольшого напряжения смещения (10 мВ) между входным и выходным электродами. Для установления биологической чувствительности прибора в его канал с помощью шприца вводили раствор полилизина. Измерения показали на заметное (примерно -0,1 В) смещение вольт-амперной характеристики прибора в качестве реакции на присутствие полилизина при мольной концентрации на уровне 1 пМ. В качестве причины чувствительности прибора к присутствию молекул полилизина авторы приводят эффект электростатического взаимодействия этих молекул с поверхностью однослойных УНТ, приводящий к электрической зарядке УНТ относительно заземленной подложки.

А.Елецкий

1. J.N.Tey et al., *Appl. Phys. Lett.* **94**, 013107 (2009).

КОНФЕРЕНЦИИ

3rd European School on Multiferroics (ESMF-3) September 7 - 11, 2009, Groningen, Netherlands

Important Deadlines

Registration: **1st July 2009**

Abstracts: **20th July 2009**

Web: www.rug.nl/fwn/esmf2009

XII Международный, междисциплинарный симпозиум “Фазовые превращения в твердых растворах и сплавах” (ОМА-12), 10-16 сентября 2009г., пос. Лоо, Краснодарский край

Тематика

- Упорядочения в сплавах и сложных оксидах металлов
- Дальний и ближний порядок в упорядочивающихся сериях твердых растворов
- Явления атомного упорядочения и проблемы минералогии
- Упорядочения и проблемы высокотемпературной сверхпроводимости и колоссального магнитосопротивления

- Порядок-беспорядок и магнитные свойства сплавов, твердых растворов, минералов
- Антифазные домены в упорядочивающихся сплавах и их роль в формировании свойств сплавов
- Проблемы упорядочения во фрагментах структуры
- Проблемы упорядочения дефектов
- Физические аспекты контактного плавления. Свойства и природа эвтектик

Важные даты

прием докладов и регистрационных форм – до **1 июня 2009**

E-mail: org.oma.odpo@gmail.com

Web: <http://oma-conference.ru/>

XII Международный, междисциплинарный симпозиум “Порядок, беспорядок и свойства оксидов” (ODPO-12), 17-22 сентября 2009г., пос. Лоо, Краснодарский край

Тематика

- Упорядочения в сложных оксидах — проблемы кристаллохимии
- Упорядочения в нестехиометрических оксидах и проблемы высокотемпературной сверхпроводимости и колоссального магнитосопротивления
- Магнитные упорядочения в сложных оксидах
- Дальний и ближний порядок в упорядочивающихся сериях твердых растворов, сплавов, композитных материалов и минералов
- Суперионная проводимость и структура оксидов
- Процессы кристаллизации и получение наноструктурированных тонких пленок
- Фазовые переходы в пленках и размерные эффекты
- Фазовые переходы как инструмент активации каталитической активности оксидов 3-d металлов
- Равновесные и неравновесные состояния в сложных оксидах

Важные даты

прием докладов и регистрационных форм – до **1 июня 2009**

E-mail: org.oma.odpo@gmail.com

Web: <http://odpo-conference.ru/>

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: В.Вьюрков, А.Елецкий, М.Маслов, Л.Опенев, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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