

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Полкванта потока и симметрия параметра порядка в безмедных ВТСП

В сверхпроводящем сообществе широко распространена (хотя и не общепринята) точка зрения, что механизм высокотемпературной сверхпроводимости является нефононным. Это часто увязывают с “необычной” (отличной от s -волновой) симметрией сверхпроводящего параметра порядка Δ . Так, например, в купратных ВТСП Δ имеет d -волновую симметрию. Что касается безмедных ВТСП, то теоретики обсуждают различные варианты, а эксперимент долгое время не мог дать однозначного ответа. В работе [1] американские и китайские физики представили данные своих “фазочувствительных” исследований Δ в ферропниктиде $\text{NdFeAsO}_{0.88}\text{F}_{0.12}$. Они использовали методику, применявшуюся ранее для определения симметрии Δ в p -волновых и d -волновых сверхпроводниках (см. рис.) и основанную на изучении квантования магнитного потока через петлю СКВИДа, включающую несколько джозефсоновских контактов между исследуемым и обычным (в [1] – Nb) сверхпроводниками. Наблюдение в [1] половинок кванта потока говорит о том, что в безмедных ВТСП Δ меняет знак с плюса на минус. Так как p -волновая симметрия (триплетное спаривание) исключена экспериментами по ЯМР, то остаются два варианта: d -волна и $s_{\pm}$ -волна (когда Δ имеет разный знак на разных карманах поверхности Ферми, но один и тот же – на каждом из них). Сами авторы [1] склоняются к $s_{\pm}$ -симметрии, мотивируя это отсутствием в безмедных ВТСП парамагнитного эффекта Мейснера и ссылаясь на данные сканирующей СКВИД-микроскопии. Ранее $s_{\pm}$ -спаривание ни в каких сверхпроводниках не наблюдалось. Согласно современным теоретическим моделям, оно обусловлено взаимодействием носителей заряда со спиновыми флуктуациями.

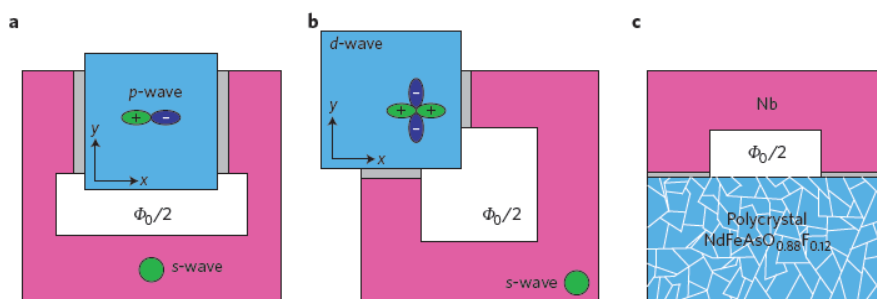


Схема экспериментов по определению симметрии сверхпроводящего состояния в p -волновых (a), d -волновых (b) и безмедных (c) сверхпроводниках.

Л. Оленов

1. C.-T. Chen et al., *Nature Phys.* **6**, 260 (2010).

И далее ...

2 НАНОМАТЕРИАЛЫ

Между графеном и графаном

СПИНТРОНИКА

2 Спинтроника без электронов проводимости?

3 Почему релаксирует спин?

МИКРОТЕХНОЛОГИИ

3 “Полевая кухня” для беспроводных сенсорных сетей

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

4 Золотое сечение бывает не только в пирамидах

5 Высокотемпературные сверхпроводники для квантовых вычислений

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

6 β -излучающие радионуклиды теперь внутри C_{80} !

7 Электропроводность графенов растет с увеличением числа дефектов

Получение прозрачных проводящих графеновых пленок методом распыления

КОНФЕРЕНЦИИ

8 Научная сессия ОФН РАН, посвященная 50-летию создания лазера, 21 апреля 2010 г

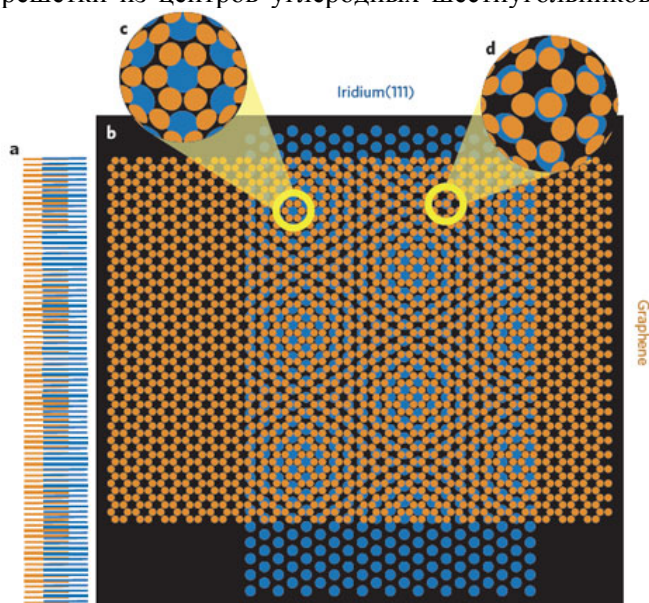
Семинар по физике конденсированного состояния
21 апреля 2010 г.

Семинар по магнетизму
20 апреля 2010 г.

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Между графеном и графеном

Чтобы использовать графен в электронике, нужно научиться каким-то образом переводить его из почти металлического в полупроводниковое состояние с достаточно большой шириной запрещенной зоны E_g . Щель появляется, например, в узких нанолентах, “вырезанных” из графена путем плазменного травления. Но величину E_g при этом трудно контролировать, поскольку она очень чувствительна к конкретной атомной структуре границ наноленты. В работе [1] (Дания, Италия, Сербия) предложен новый способ диэлектризации графена: посредством формирования на нем сверхструктуры из адсорбированных атомов водорода. Это достигается путем осаждения графена на подложку Ir(111), в результате чего образуется муаровый узор (см. рис.), возникающий благодаря близости периодов треугольной решетки Ir и дуальной треугольной решетки из центров углеродных шестиугольников.



a - Муаровый узор из оранжевых и синих линий. Расстояние между соседними линиями одного цвета различается на 5%. *b* - Муар из графена на подложке Ir(111). *c* и *d* - Две различные симметричные конфигурации C-Ir: атомы Ir расположены под центрами углеродных шестиугольников (*c*) или под некоторыми атомами углерода (*d*). В случае (*d*) водород адсорбируется преимущественно на атомах углерода, не образующих связей с атомами Ir.

Период такого узора составляет около 2.5 нм – примерно в десять раз больше, чем у графена. При последующей экспозиции образца в атомарном водороде последний адсорбируется преимущественно на атомах углерода, не связанных с атомами Ir (см. рис.). Так формируется наноструктура из чередующихся “наводороженных” и графеновых областей. Первые – сродни sp^3 -гибридизованному графану [2], в котором половина атомов водорода заменена атомами Ir, у них $E_g \approx 4$ эВ. А в графеновых участках щель $E_g \approx 0.5$ эВ появляется вследствие их малых поперечных размеров, как в нанолентах. При

этом величину E_g можно в определенных пределах контролировать, просто изменяя концентрацию адсорбированного водорода. Изготовленные в [1] сверхструктуры устойчивы даже при температуре выше комнатной. В дальнейшем интересно было бы изучить возможность формирования водородных узоров такого типа в графене на других (не проводящих) подложках (металлический иридий не годится для использования в реальных устройствах, так как закорачивает цепь). Кроме того, остается открытым вопрос о влиянии адсорбции водорода на подвижность носителей тока: будет ли она такой же высокой как в графене?

Л.Опенков

1. R.Balog et al., *Nature Mater.* **9**, 315 (2010).
2. D.Elias et al., *Science* **323**, 610 (2009).

СПИНТРОНИКА

Спинтроника без электронов проводимости?

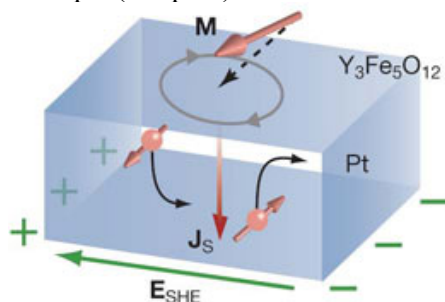
Одна из многих трудностей, которые стоят на пути превращения спинтроники из красивой идеи в нечто полезное, состоит в том, что электроны не очень надежно переносят спин. Есть-то он у них есть, и даже сориентировать его можно с довольно большой эффективностью, а вот перенести спин из среды в среду получается плохо и не всегда. Группа японских исследователей задалась именно этой проблемой и сумела – нет, не решить, но честно ее обойти. Дальнейшие события покажут, сохранили ли авторы после обхода направление основного движения или “ломанулись” в никуда; но в свежести подхода им не откажешь. Не переносят электроны спины – и ну их. Причем “ну” – не спины, иначе это бы не было спинтроникой. Ненужными в их подходе оказались именно электроны проводимости, поскольку в их опубликованной работе спины переносят информацию через изолятор.

В работе [1] осуществлен перенос информации спиновой волной, т.е. возбуждениями спинов локализованных электронов. Совсем от электронов избавиться все-таки не удалось, наверное, потому, что Вселенная должна в целом остаться электронной.

Информация переносилась в пленке железиттриевого граната толщиной 1.3 мкм между двумя платиновыми пленками (полосками), напыленными поверх пленки граната. Расстояние между полосками составляло 1 мм, и как раз его и преодолевали передаваемые биты. Правда, формально до битов и до более крупных единиц информации дело не дошло, но на входной ток в пленке-передатчике плотностью 10 кА/см² пленка-приемник (как в телепатии – индуктор-реципиент) послушно откликнулась напряжением в 1 нановольт.

Теперь, все-таки, о спинах, поскольку из-за них весь сыр-бор. Детали таковы: пленка-передатчик была выполнена из платины, материала, в котором сильно спин-орбитальное взаимодействие. Ток от

внешнего источника за счет спинового эффекта Холла в платиновой пленке приводил к появлению дополнительного спина электронов проводимости, который действовал на магнитные моменты в пленке железо-иттриевого граната. Благодаря слабому затуханию, спиновые волны (т.е. возбуждения в спиновой системе граната) преодолевали уже упомянутый миллиметр. Далее по обратной цепочке эффектов в конечном итоге все превращалось в напряжение во второй платиновой пленке, чего и добивались авторы (см. рис.).



Обратный спиновый эффект Холла: э.д.с. E_{SHE} генерируется спиновым током J_S в слое Pt, возникающим вследствие динамики намагниченности M в слое $Y_3Fe_5O_{12}$.

Однако на этом работа не закончилась. Разменять килоампер на нановольт несложно, а вот чтобы доказать, что все произошло именно так, как предполагалось, и что задействованы именно спины, авторам пришлось придумывать дополнительные эксперименты. Первая и довольно естественная проверка – авторы сменили среду. В среде с большим затуханием спиновых волн эффекта не было. Авторы нанесли пленки-изоляторы, которые разделили гранатовую пленку и платиновые пленки, убрав контактное взаимодействие – эффект также не появился. И, наконец, намагничивая гранатовую пленку в различных направлениях, авторы смогли сделать так, что неравновесный спин в платиновой пленке мог возбуждать, а мог и не возбуждать спиновые волны. В итоге дотошные усилия авторов закрыть собственный эффект успехом не увенчались, и научный мир теперь должен принять во внимание, что для спинтроники электроны проводимости совсем не обязательны.

Говорят Миккельанджело (а вслед за ним и Роден), в ответ на вопрос – как он творит шедевры –, отвечал, что просто отсекает от глыбы мрамора все лишнее. Интересно, что еще осталось отсечь от спинтроники, чтобы она превратилась в шедевр?

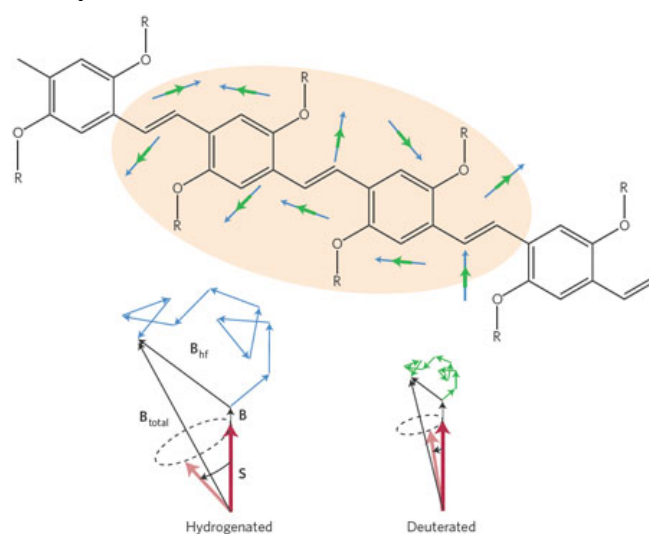
М.Компан

1. Y.Kajiwar et al., *Nature* **464**, 262 (2010).

Почему релаксирует спин?

Органические полупроводники сейчас всерьез рассматриваются как альтернатива традиционным полупроводниковым материалам для конструирования спинтронных устройств (спиновых вентилях, спиновых транзисторов и пр.). Это связано с тем, что органические вещества состоят преимущественно

из легких химических элементов (водорода, углерода, азота, кислорода), в которых спин-орбитальное взаимодействие слабое, и поэтому время релаксации спина электрона τ , как ожидается, должно быть достаточно большим для практических целей. Однако пока не вполне ясно, действительно ли величина τ в органике ограничена спин-орбитальным взаимодействием, или же чем-то еще? В работе [1] показано, что очень существенную (а может быть, даже определяющую) роль здесь играет сверхтонкое взаимодействие электронов со спинами ядер. К этому выводу авторы [1] пришли, проведя сравнительный анализ величин τ в двух полимерах, различающихся только тем, что в одном из них водород заменен дейтерием. Электронные свойства этих полимеров (в том числе – спин-орбитальное взаимодействие) одинаковые, тогда как маленький магнитный момент ядер дейтерия (в 3 раза меньше, чем у протона) приводит к значительному ослаблению сверхтонкого взаимодействия. Очень большое (достигающее рекордных 330 %) магнетосопротивление спиновых вентилях из дейтерированного полимера указывает на то, что $\tau_D \gg \tau_H$ (см. рис.). Таким образом, для повышения эффективности органических спинтронных элементов нужно подбирать для них материалы, не содержащие водорода. А спин-орбитальное взаимодействие, по-видимому, не столь существенно, как считалось ранее.



Фрагмент полимера, использовавшегося в работе [1]. Символом R обозначена группа C_8H_{17} . S – электронный спин, B – внешнее магнитное поле, B_{hf} – сверхтонкое поле (сумма полей ядерных спинов).

1. T.Nguyen et al., *Nature Mater.* **9**, 345 (2010).

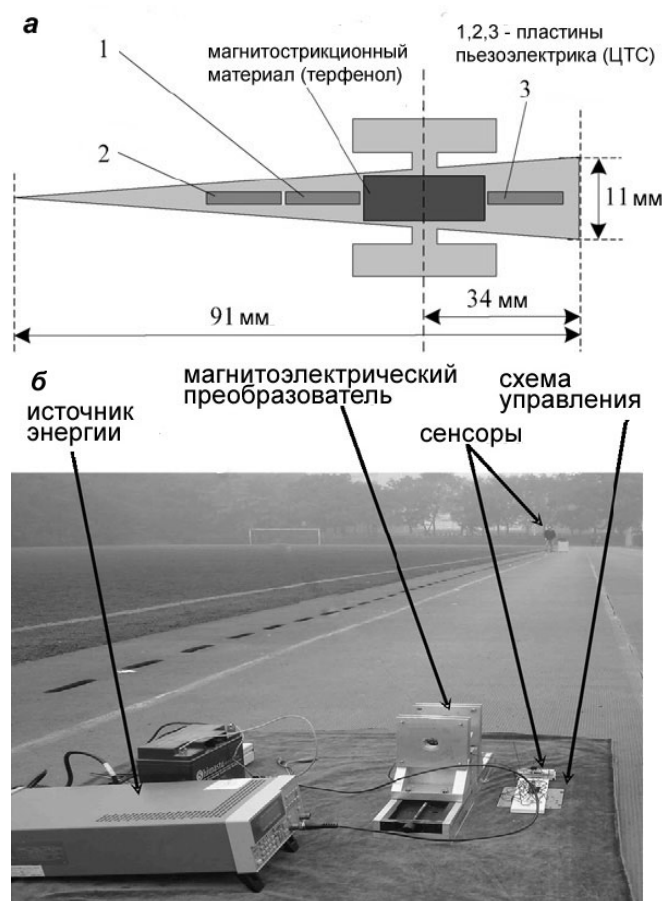
МИКРОТЕХНОЛОГИИ

“Полевая кухня” для беспроводных сенсорных сетей

Миниатюризация электронных устройств привела к появлению технологии беспроводных сенсорных сетей, представляющих собой множество датчиков, собирающих, обрабатывающих информацию и об-

менивающихся ей между собой. Такая распределенная самоорганизующаяся система может оказаться чрезвычайно эффективной для контроля рабочего состояния механизмов, экологического мониторинга и систем безопасности, в том числе и в деле предотвращения террористических угроз.

Развитие беспроводных сенсорных сетей в первую очередь ограничивается проблемой энергопитания, особенно остро этот вопрос стоит в том случае, когда датчики внедрены внутрь исследуемых объектов (например, при измерении давления в шинах движущихся машин) и не могут быть подключены к электросети. Наиболее распространенным решением этой проблемы является использование электрохимических батарей, однако источники питания, как может заметить каждый, не впечатляют прогрессом ни по части миниатюризации, ни емкости, ни экологической безопасности. Поскольку многие беспроводные сенсорные сети рассчитаны на годы работы, необходимы какие-то иные решения.



а - Магнитоэлектрический преобразователь на основе пьезоэлектрического и магнитоэлектрического материалов, расположенных на подложке из сужающейся металлической пластины (волноводного акустического концентратора); *б* - узел беспроводной сенсорной сети с магнитоэлектрическим питанием [1].

Energy harvesting – получение энергии из окружающей среды – является наиболее привлекательным выходом из положения. Это могут быть системы, накапливающие энергию механических, температурных или электромагнитных колебаний, но по-

ток энергии, поступающий от естественных источников, мал – меньше 1 мкВт/см^2 (речь здесь не идет о световом излучении, поскольку, как уже говорилось ранее, датчики могут быть изолированными от естественного света). Поэтому в случае сенсорных сетей часто необходим специальный источник переменного поля, мощности которого достаточно для беспроводного питания множества удаленных датчиков.

В работе [1] предлагается магнитоэлектрическое устройство, способное длительное время (более 10 мин) накапливать энергию от переменного магнитного поля, преобразовывать ее в энергию батареи конденсаторов, а затем освобождать в виде электрического импульса длительностью порядка 1 с. Источником излучения является спрятанный под землю вместе с антенной генератор, создающий в месте расположения датчиков переменное магнитное поле с амплитудой около 1 Э и частотой 30 кГц. Преобразование энергии магнитного поля в электростатическую энергию заряженных конденсаторов осуществляется с помощью магнитоэлектрического элемента, состоящего из слоев магнитоэлектрического и пьезоэлектрических материалов, расположенных на общей металлической подложке, имеющей форму сужающейся к одному концу пластины (рис. 1а). Переменное магнитное поле вызывает периодическую деформацию магнитоэлектрической пластины на резонансной частоте. Эти механические колебания передаются подложке и распространяются по ней, так что при подходе к узкому концу возрастает концентрация акустической энергии и амплитуда колебаний. Колебания подложки передаются пластинкам пьезоэлектрика, и в них возникает переменное электрическое напряжение. Данная конструкция является разновидностью магнитоэлектрического композиционного материала, однако, при помощи акустического концентратора удастся получить выигрыш в два раза по сравнению с величиной магнитоэлектрического коэффициента для традиционной многослойной структуры из скрепленных магнитных и электрических слоев. На рис. 1б представлена фотография основных узлов системы питания сенсоров. Магнитоэлектрический преобразователь, описанный в работе [1] может питать сенсор, передающий информацию на 60-100 м со скоростью 250 кбит/с.

А. Пятаков

1. P.Li et al., Sensors and Actuators A 157, 100 (2010).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Золотое сечение бывает не только в пирамидах

Так называемое “Золотое сечение” $\varphi \approx 1.618$ – число, широко использовавшееся в античной архитектуре (см. рис.) и привлекающее к себе внимание многих современных скульпторов. Как оказалось, это число встречается и в нерукотворной части

Природы. При исследовании магнитных свойств квазиодномерного соединения CoNb_2O_6 было обнаружено [1], что при $H_C \approx 5.5$ Тл в нем имеет место квантовый фазовый переход, при котором изинговский ферромагнетизм разрушается, так что каждый спин находится в суперпозиции состояний “вверх” и “вниз”, а массы двух различных типов низкоэнергетических квазичастиц в непосредственной окрестности H_C относятся друг к другу как $m_2/m_1 = \varphi$! Впрочем, этот результат не стал таким уж неожиданным, поскольку был предсказан ранее, исходя из аналогии между одномерной моделью Изинга при $H=H_C$ и интегрируемой квантовой теорией поля. Можно предположить, что по мере изучения окружающего нас мира мы еще не раз наткнемся на Золотое сечение, ведь уравнение $x^2 - x - 1 = 0$, одним из корней которого оно является, встречается в самых различных задачах.



У этой египетской пирамиды половина длины стороны основания относится к высоте пирамиды и к высоте ее боковой грани как $1:\varphi^{1/2}:\varphi = 1.618034$, где φ – “Золотое сечение” (или “Золотая пропорция”), которое получается при разбиении отрезка длиной l на два так, что отношение их длин $\varphi = l_2/l_1$ равно $l/l_2 = (l_1 + l_2)/l_1$.

По материалам заметки
I. Affleck, *Nature* **464**, 362 (2010).

1. R. Goldea et al., *Science* **327**, 177 (2010).

Высокотемпературные сверхпроводники для квантовых вычислений

Сверхпроводящее состояние является макроскопическим квантовым состоянием, когда довольно большой кусок вещества ведет себя как отдельная квантовая частица. Поначалу казалось, что квантовый компьютер на сверхпроводниках можно будет легко изготовить с помощью микронной или субмикронной технологий. И, действительно, структуры были изготовлены весьма быстро. А вот потом выяснилось, что квантовые состояния в них слишком быстро разрушаются. Несмотря на неудачный быстрый взлет сверхпроводниковых квантовых компьютеров, их интенсивные исследования продолжаются, и они по-прежнему считаются одними из фаворитов.

Напомним принципы работы таких компьютеров на примере общей схемы кубита (рис. 1), взятой из

презентации П.Б. Можаяева на научном семинаре ФТИАН.

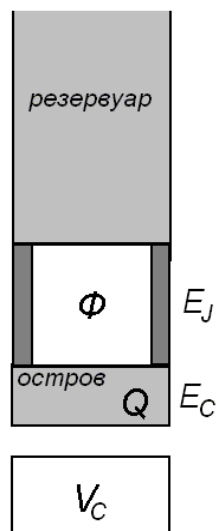


Рис. 1. Схема устройства сверхпроводникового кубита.

Два сверхпроводника, резервуар и остров, соединены джозефсоновским контактом, потенциал острова управляется электродом V_C . Структура характеризуется двумя энергиями. Джозефсоновская энергия E_J задает силу связи с магнитным потоком в кольце, кулоновская энергия E_C задает энергию, необходимую для перемещения куперовской пары на остров. В зависимости от соотношения этих энергий кубит может быть “зарядовым” ($E_C \gg E_J$) или “потокотым” ($E_J \gg E_C$).

В 2003 г. сотрудники NEC Corporation (Япония), в число которых входили российские ученые Ю. Пашкин и О. Астафьев, изготовили структуру с двумя зарядовыми кубитами, однако получить на ней правильную квантовую операцию CNOT не удалось. Что касается потокотых кубитов, то из-за флуктуаций магнитного потока, вызванных флуктуациями тока, пока не удастся добиться достаточно слабой декогерентизации. Как говорят, такие кубиты являются слишком “шумными”.

Выход из этой ситуации предоставляют высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП). Использование этих материалов, в принципе, позволяет создать “тихие” кубиты. В них ключевым моментом является изготовление т.н. π -контакта, при прохождении через который фаза параметра порядка изменяется на π , т.е. параметр порядка изменяет знак. Наличие такого контакта в кольце приводит к существованию двух состояний с равной энергией и противоположным направлением тока (по часовой стрелке и против). Это и есть два базовых состояния кубита. Для образования этих состояний не нужно магнитное поле. Приятно отметить, что на одну из возможностей создания π -контакта впервые указал советский ученый Л.Н. Булаевский еще в 1977 г.

Группа П.Б. Можаяева (ФТИАН) совместно с Technical Univ. of Denmark, Lyngby (Дания) и Univ. of Oslo (Норвегия) уже на протяжении многих лет работает над созданием квантового компьютера на основе высокотемпературных сверхпроводников [1]. Для этого нужно сформировать границу двух пленок материала с разной кристаллической ориентацией. Рис. 2 поясняет возможность образования π -контакта, возможность основанную на d-волновой симметрии параметра порядка. Представлена фасетированная граница двух высокотемпера-

турных сверхпроводников с разной кристаллической ориентацией, на лепестках проставлены знаки параметра порядка. Проходя правую границу фасетки электроны из положительного лепестка преимущественно попадают в отрицательный лепесток, параметр порядка изменяет знак. Это и есть π -контакт. В то же время, левая фасетка является обычным контактом, не изменяющим знак параметра порядка. Таким образом, полный ток через фасетку равен нулю. К сожалению, фасетки имеют нанометровый размер, и пока невозможно сделать контакт из одной стороны фасетки. Если на субмикронном контакте окажется “полуцелое” число фасеток, то такой контакт может случайно оказаться либо π -контактом, либо обычным контактом. Ток фактически будет протекать через одну сторону неполной фасетки. Реальные структуры пока далеки от идеализированной картинки на рис. 2. Выращивание пленок ВТСП с разной кристаллической ориентацией вызывает большие технологические трудности.

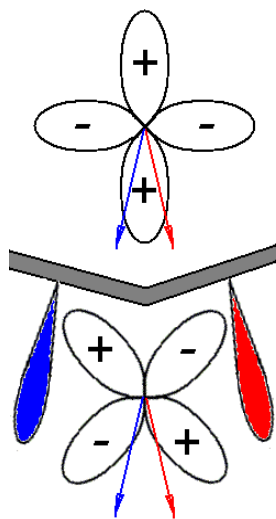


Рис. 2. Возникновение π -контакта на фасетированной границе двух высокотемпературных сверхпроводников с разной кристаллографической ориентацией.

Альтернативой использованию ВТСП для получения π -контактов является введение ферромагнитной прослойки между электродами сверхпроводника. Подобные контакты теоретически исследовались М.Ю. Куприяновым (НИИЯФ МГУ), экспериментальные исследования проводит В.В. Рязанов (ИФТТ РАН). Подобные контакты изучает и группа П.Б. Можаяева (ФТИАН), однако пока тонкая ферромагнитная прослойка в структуре превращается в парамагнитную. Трудности связаны с тем, что в качестве ферромагнетика обязательно надо использовать материал с кристаллической структурой близкой к сверхпроводнику.

И заключение. В процессе исследований были выявлены многочисленные неожиданные технологические трудности на пути создания ВТСП квантового компьютера. К счастью, не обнаружено ни одной непреодолимой трудности, поэтому оптимистический настрой у исследователей сохраняется.

В.Вьюрков

1. V.V.Yurchenko et al., *Physica C: Superconductivity*, 2010, in press;
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physc.2010.02.085>

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

β -излучающие радионуклиды теперь внутри C_{80} !

Адресная доставка лекарственных средств является актуальной задачей современной медицины. В ряде приложений, например при лечении раковых заболеваний, в качестве терапевтических агентов предлагается использовать β -излучающие радионуклиды, которые оказывают направленное разрушающее воздействие на опухолевые клетки. Ну а с вопросом адресной доставки, по мнению авторов работы [1], помогут разобраться хорошо всем знакомые фуллерены. На этот раз в центре внимания оказался старший брат бакибола C_{60} – фуллерен C_{80} . Исследователям удалось поместить β -излучающий радионуклид лютеция ^{177}Lu в виде комплекса Lu_3N внутрь молекулы C_{80} и продемонстрировать, что ионы лютеция ($^{177}\text{Lu}^{3+}$) не покидают этот фуллерен по крайней мере в течение почти семи суток (периода полураспада ^{177}Lu). Сам факт инкапсуляции подтверждается, в частности, высокоэффективной жидкостной хроматографией. Кроме того, авторы показали, что данный агент способен связываться с интерлейкином-13, что позволит эффективно использовать получившийся комплекс в борьбе с раковыми заболеваниями, например, с мультиформной глиобластомой. Еще одним интересным свойством синтезированной наносистемы является сохранение целостности фуллеренового каркаса во время радиоактивного распада (см. рис.). Авторы отмечают, что разработанная ими платформа адресной доставки наночастиц на основе фуллерена C_{80} обладает достаточной гибкостью и в перспективе может использоваться в ряде других приложений лучевой терапии, например, на основе изотопов гольмия ^{166}Ho и иттрия ^{90}Y . Будем надеяться, что полученные в работе [1] результаты найдут самое широкое применение в области наномедицины, а именно, при разработке систем адресной доставки лекарственных средств нового поколения.

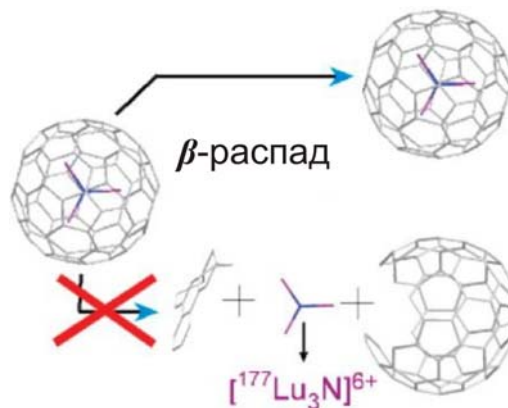


Иллюстрация возможного разрушения или сохранения целостности фуллеренового комплекса в результате β -распада.

М.Маслов

1. J.Bai et al., *Nature Nanotech.* 5, 190 (2010).

Электропроводность графенов растет с увеличением числа дефектов

Электронные свойства графенов являются предметом пристального внимания со стороны исследователей, что связано в первую очередь с потенциальной возможностью использования этих объектов в качестве элемента нанoeлектронных устройств и приборов. До сих пор считалось, что электропроводность графена с идеальной структурой превышает соответствующий показатель для реальных графенов, обладающих структурными дефектами. Однако, это мнение опровергается результатами экспериментальных и теоретических исследований, выполненных большой группой ученых из разных стран (Швеция, Чехия, США), которым удалось обнаружить эффект роста электропроводности графенов в результате введения дефектов [1]. Это открытие позволяет рассматривать возможность приготовления графенов с заданной электропроводностью, что может стать толчком к развитию нанoeлектроники на их основе. В качестве объекта исследования использовали углеродные нанополоски (УНС), представляющие собой чешуйки графена с поперечным размером около 1 мкм, толщиной основания до 7 монослоев и толщиной свободного конца 2-3 графеновых слоя, возвышающиеся над поверхностью частицы наногرافита, которая имела толщину около 20 нм. Подобные полоски удобны как для химической обработки, так и для электрических измерений, поскольку при этом не возникает проблем транспортировки образцов нанометрового размера.

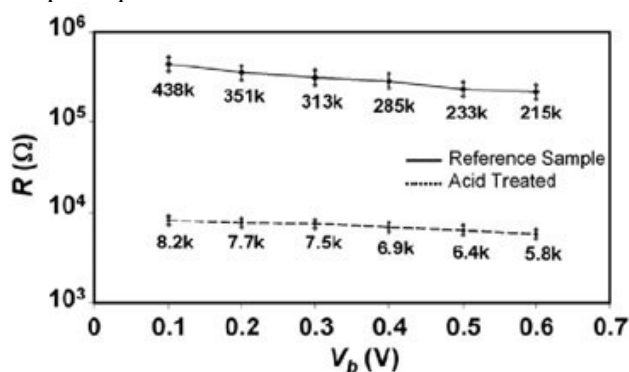


Рис. Зависимости электрического сопротивления от приложенного напряжения образца графена, обработанного кислотой, и контрольного образца.

Для введения дефектов полученные образцы в течение 3 ч обрабатывали в водном растворе HCl (35%) при температуре 90°C, после чего промывали в деионизованной воде в течение 10 ч, затем промывали деионизованной водой при комнатной температуре и просушивали в течение 3 мин при температуре 150°C. Контрольные образцы промывали только водой, без использования кислотного раствора. Как видно из рисунка, введение дефектов сопровождается снижением электрического сопротивления графена в несколько десятков раз. Для

объяснения этого результата авторы воспользовались моделью, согласно которой введение дефектов в графен сопровождается существенным увеличением концентрации носителей заряда, что обусловлено возникновением в электронной структуре графена примесных электронных уровней, связанных с наличием присоединенных групп. При этом рост концентрации носителей с увеличением числа дефектов с избытком компенсирует снижение их подвижности, обусловленное рассеянием электронов на примесных неоднородностях.

А.Елецкий

1. S.H.M.Jafri et al., J. Phys. D 43, 045404 (2010).

Получение прозрачных проводящих графеновых пленок методом распыления

Вскоре после открытия графенов в 2004 г. возникло множество исследовательских групп, работающих над развитием новых методов получения этих регулярных углеродных структур, представляющих собой плоские двумерные слои, выложенные атомами углерода. Цель этих работ состоит в разработке относительно простой и недорогой процедуры получения макроскопических количеств графенов и материалов на их основе с тем, чтобы сделать этот уникальный материал доступным для прикладного использования. Один из наиболее распространенных подходов к синтезу графенов основан на окислении графита, результатом чего являются легко разделяемые с помощью поверхностно-активных веществ листы оксида графена (ОГ). Последующая обработка этого материала в сильном восстановителе (например, гидразине) приводит к восстановлению ОГ до чистого графена. Выделенные таким образом графеновые листы применяют в дальнейшем для приготовления таких материалов как графеновая пленка либо графеновая бумага, которые обладают обширным потенциалом прикладного использования. Недавно группе исследователей из Univ. of Ulsan (Южная Корея) удалось существенно упростить описанную процедуру синтеза графеновых пленок, что может привести к расширению их прикладных возможностей. Слои ОГ были получены стандартным способом в результате процедуры быстрого (10 с) нагрева небольшого количества мелкодисперсного графитового порошка в микроволновой печи. Полученный материал в течение 2 мин сначала тщательно смешивали с моногидратом гидразина в весовом соотношении 1:3, а затем с 20%-ным водным раствором этилового спирта (1:150). Для получения стабильной и гомогенной суспензии смесь в течение 1 мин подвергали ультразвуковой обработке, в результате чего суспензия сохраняла стабильность в течение нескольких недель. Эту суспензию распыляли со скоростью 3 мл/мин над предварительно нагретой до температур 190-295°C поверхностью кварцевой подложки площадью 2x2 см² с использованием азота при давлении 2 атм в качестве газа-носителя. Расстояние ме-

жду срезом распылительного сопла и поверхностью подложки составляло 12 см. Суспензия покрывала поверхность подложки небольшими каплями. Элементный химический анализ и спектральные методы показали, что в результате описанной процедуры происходит эффективное восстановление ОГ до чистого графена.

При этом на подложке образовывались графеновые пленки поперечником в несколько мкм, которые были случайным образом распределены по поверхности, образуя перекрывающиеся друг друга слои. Исследования, выполненные с помощью атомного силового микроскопа, показали, что среднеквадратичный размер шероховатости полученной пленки составляет 1–2 нм. Результаты измерений указывают также на высокую чувствительность параметров полученных пленок к температуре подложки в процессе распыления. Так, удельное электрическое сопротивление пленок минимально (порядка 10^3 Ом/см²) при температуре подложки 240°C, в то время как прозрачность пленок возрастает с ростом температуры, достигая максимума (77%) при 295°C.

А.Елецкий

1. V.H.Pham et al., *Carbon* **48**, 1945 (2010).

КОНФЕРЕНЦИИ

Научная сессия ОФН РАН и Ученых советов ФИАН и ИОФАН, посвященная 50-летию создания лазера, 21 апреля 2010 г. (11:00)

(ФИ им. П.Н.Лебедева РАН, Ленинский просп., 53, конференц-зал)

Программа

1. **Ж.И. Алферов** (ФТИ РАН) - Полупроводниковые лазеры на гетероструктурах
2. **С.Н. Багаев** (ИЛФ СО РАН) - Спектры сверхвысокого разрешения и их фундаментальное применение
3. **А.В. Масалов** (ФИАН) - Отделение оптики ФИАН: первые работы по созданию лазеров

4. **С.В. Гарнов, И.А. Щербаков** (ИОФАН) - Лазерные источники мегавольтных терагерцовых импульсов
5. **А.М. Сергеев, Е.А. Хазанов** (ИПФАН) - Развитие исследований по экстремальным световым полям
6. **Ю.М. Попов** (ФИАН) - Об истории создания полупроводниковых лазеров
7. **А.А.Маненков** (ИОФАН) - Самофокусировка лазерных пучков: современное состояние и перспективы

Web: <http://www.gpad.ac.ru/>

Семинар по физике конденсированного состояния 21 апреля 2010 г. (17.00)

(аудитория СФА физического факультета МГУ)

Ладислав Скрбек (Карлов университет, Прага, Чехия) “Квантовая турбулентность”

Пропуск на физический факультет слушателей семинара, будет осуществляться по предъявлению паспорта. Предварительная запись на семинар на сайте <http://nano.msu.ru/education/seminars> (до 15:00 дня семинара).

Для расширения возможностей участия в семинаре предполагается обеспечить прямую он-лайн трансляцию заседаний через сайт <http://nano.msu.ru/video.php>

Дополнительная информация: тел. +7(495)939-1151

E-mail: khokhlov@mig.phys.msu.ru, obraz@polly.phys.msu.ru, timoshen@phys.msu.ru

Семинар по магнетизму 20 апреля 2010 г. (17.00)

(конференц-зал ИФП РАН, ул. Косыгина, 2)

А.К. Звездин (ИОФ РАН), Д.И. Плохов (ИОФ РАН), А.И. Попов (МГИЭТ). Молекулярная спинтроника. Анапольный момент и спин-электрические взаимодействия в магнитных молекулярных нанокластерах.

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.Компан, М.Маслов, Л.Опенков, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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