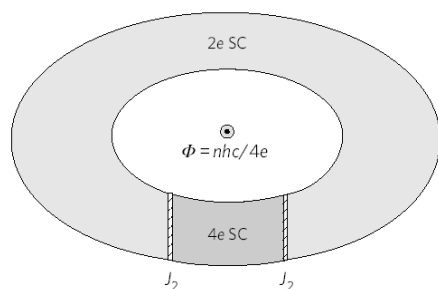


В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

4e-сверхпроводимость в ВТСП?

Нормальное состояние купратных ВТСП мало похоже на нормальное состояние обычных сверхпроводников и металлов. Скорее его можно назвать “ненормальным”. А вот в сверхпроводящем состоянии низкоэнергетические характеристики ВТСП в целом неплохо описываются стандартной моделью БКШ, только не с s -, а с d -волновым параметром порядка. Однако недавно в некоторых ВТСП ($\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ и $\text{La}_{1.6-x}\text{Nd}_{0.4}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$) были обнаружены признаки специфического “страйпового” сверхпроводящего состояния. При этом параметр порядка модулируется таким образом, что его среднее по координате величина оказывается в точности равной нулю. Авторы работы [1] (теоретики из университетов Стэнфорда и Иллинойса) пошли дальше: они показали, что частичное “термическое плавление” такого состояния может приводить к образованию ряда новых необычных фаз, в том числе – фазы с дробным квантом потока $hc/4e$. Переход этой фазы в несверхпроводящее состояние можно рассматривать как множественное рождение вихрей с полуполным квантом потока. Ранее такие состояния никогда не наблюдались. Более того, их нельзя получить в рамках обычной теории БКШ. Для экспериментальной регистрации этих состояний в [1] предложен ряд экспериментов (например, со скивдом из 4e-сверхпроводника, см. рис.).



Петля СКВИДа
из 2e- и 4e-сверхпроводников.

И будет здорово, если теоретическое предсказание подтвердится!

I. E. Berg et al., Nature Phys. 5, 830 (2009).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Диссипация помогает квантовым вычислениям

Исследователи, связанные с квантовым компьютером, настолько устали от борьбы с декогеренцией, что неожиданное предложение, недавно представленное в Nature Physics [1], выглядит как возможное спасение. Декогеренция, т.е. нарушение состояния квантовой системы, вызывается ее взаимодействием с окружением. Все прежние усилия были направлены на ее подавление. Из последних ярких предложений можно вспомнить топологический квантовый компьютер и адиабатический квантовый компьютер. В первом используется высокая устойчивость топологических состояний к возмущениям, во втором – эволюция системы происходит вблизи основного

И далее ...

- 2 Динамическое подавление декогерентизации электронных спинов в твердом теле

Дробный квантовый Холл в графене

НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 3 Десорбция водорода из графана

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

- 4 Плазмонный храповик: метаматериалы с круговым дихроизмом

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 5 Анизотропное трение в нанотрубках

Нанореактор
из фуллеренов C_{70}

- 6 Углеродные нанотрубки повышают интенсивность электролюминесценции люминофора

- 7 Прозрачные проводящие электроды на основе графеновых пленок

ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

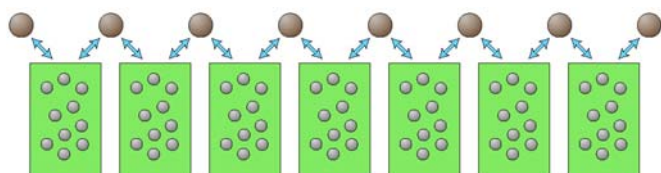
- 8 Квантовая механика: плохие новости для путешественников во времени

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ

состояния. Предшествовала этой идее работа Л. Федичкина, М. Янченко и К. Валиева (ФТИАН) [2], в которой был получен парадоксальный результат. Оказалось, что релаксация квантовой системы в основное состояние под воздействием фононов происходит тем медленнее, чем меньше энергетическая щель между основным состоянием и возбужденным.

Рассматриваемая сейчас работа возникла не на пустом месте, она явилась развитием прежних идей. Предлагается использовать релаксацию, чтобы перевести систему в основное состояние, которое и содержит результат квантовых вычислений. Таким образом, релаксация из врагов переходит в союзники. Перспективы захватывают: не надо строго выдерживать воздействие на систему, кроме того, допустимы и другие ошибки. Все равно система неизбежно устремляется к основному состоянию. От него только требуется - быть единственным (frustration-free).

Авторы в последующих публикациях намереваются применить свое предложение к реальным структурам квантовых компьютеров, таким как ионы в ловушках и спиновые кубиты. Пока же выдвигаемые требования выглядят не вполне реалистичными. Так, взаимодействие кубитов и их релаксация должны осуществляться через отдельные и изолированные внешние системы, взаимодействие с которыми, к тому же, должно управляться (см. рис.). В то же время, ясно, что, например, твердотельные кубиты находятся в общей “ванне”, наполненной акустическими фононами.



Схематическое изображение принципа работы компьютера.

Несмотря на всяческие опасения, идея, безусловно, очень интригующая, и достойна внимания.

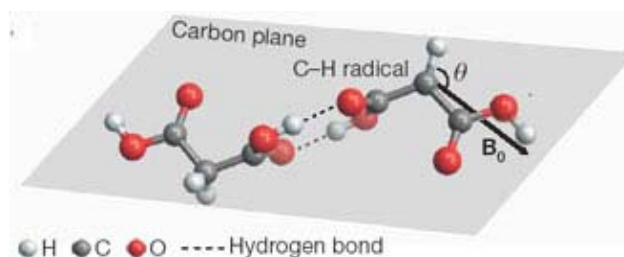
В.Вьюрков

1. F.Verstraete et al., *Nature Phys.* **5**, 633 (2009).
2. L.Fedichkin et al., *Nanotechnology* **11**, 387 (2000).

Динамическое подавление декогерентизации электронных спинов в твердом теле

Для того чтобы использовать эффект квантовой когерентности при организации квантовых вычислений (операций с кубитами) нужно сначала научиться как-то ослаблять процессы декогерентизации, обусловленные взаимодействием кубитов с их окружением. Один из возможных путей борьбы с быстрой декогерентизацией электронных спинов (спиновых кубитов) в твердых телах заключается в “динамическом подавлении” этого взаимодействия (dynamical decoupling) путем регулярных “стробо-

скопических” переворотов спинов [1]. В работе [2] китайские ученые продемонстрировали экспериментальную реализацию этой идеи с применением импульсного электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Были использованы монокристаллы малоновой кислоты, в которых за счет воздействия γ -облучения из некоторых метиленовых групп ($-\text{CH}_2-$) удален один атом водорода и на их месте образованы радикалы ($-\text{CH}^\bullet$) с неспаренными электронами (см. рис.).



Элементарная ячейка малоновой кислоты и радикал C-H, образующийся при γ -облучении.

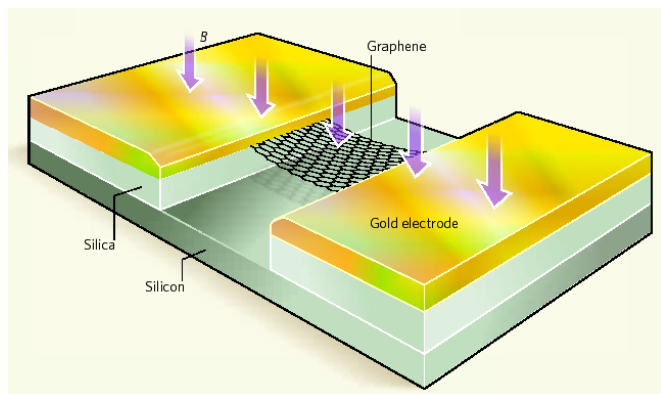
При оптимальной последовательности из семи ЭПР-импульсов и $T = (50 \div 300)$ К время декогерентизации удалось увеличить почти на три порядка – от 0.04 до 30 мкс. Сопоставление экспериментальных данных, полученных при различной концентрации радикалов, с известными теоретическими моделями позволило выявить основные механизмы декогерентизации: сверхтонкое взаимодействие кубитов с ядерными спинами и спин-спиновое взаимодействие между кубитами. Эту методику ослабления декогерентизации можно применить и к другим твердотельным спиновым кубитам (например – к центрам “азот-вакансия” в алмазе), причем все это – при комнатной температуре.

1. G.S.Uhrig et al., *Phys. Rev. Lett.* **98**, 100504 (2007).
2. J.Du et al., *Nature* **461**, 1265 (2009).

Дробный квантовый Холл в графене

Во внешнем магнитном поле B на электроны, участвующие в переносе электрического тока, действует сила Лоренца, поэтому они отклоняются в направлении, перпендикулярном как полю, так и току. Скапливаясь на краях образца, электроны создают поперечное электрическое поле, компенсирующее силу Лоренца. При этом возникает электрическое напряжение, то есть появляется конечное сопротивление R_H , называемое холловским в честь Эдвина Холла, открывшего данный эффект в 1879 г. [1]. Согласно законам классической физики, величина R_H линейно увеличивается с ростом B . Сто лет спустя Клаус фон Клитцинг обнаружил, что в квазидвумерном проводнике на зависимости R_H от B имеются плато при $R_H = h/ne^2$ (h – постоянная Планка, e – заряд электрона, n – целое число). Этот эффект получил название целочисленного квантового эффекта Холла. Он возникает из-за квантования движения отдельных электронов в магнитном поле (уровни Ландау). Позже выяснилось, что ве-

личина n может быть и дробной, как если бы ток переносили частицы с дробным зарядом – дробный квантовый эффект Холла (Fractional Quantum Hall Effect, FQHE) [3]. Так, собственно, оно и есть, только ток переносят не частицы, а квазичастицы. Тот факт, что их заряд отличается от заряда электрона, есть следствие сильного межэлектронного взаимодействия [4]. Для наблюдения FQHE требуются сверхчистые слоистые полупроводниковые гетероструктуры, а эксперимент проводят при очень низкой температуре.



Кусочек графена, подвешенный между электродами и помещенный в магнитное поле.

В работах [5, 6] сразу две научные группы практически одновременно обнаружили FQHE с $n=1/3$ в графене – тончайшем (толщиной всего в один атом) слое углерода. Чтобы избежать образования дефектов при соприкосновении графена с подложкой, авторы [5, 6] “подвешивали” фрагмент графена над подложкой, закрепляя его края на электродах (см. рис.). Все это стало возможным благодаря разработке в последние годы новых методик изготовления такого “свободного” графена и использованию нестандартной (двухконтактной) геометрии для измерения его сопротивления. Существенно, что FQHE имел место при температурах до 20 К – в 100 раз выше, чем в полупроводниковых гетероструктурах. Наличие FQHE в графене свидетельствует о сильных электронных корреляциях. А поскольку электронные состояния в графене (“дираковские фермионы”) не такие, как в обычных полупроводниках, то от графена можно, наверно, ожидать и каких-то новых холловских эффектов. Кроме того, использование сканирующего туннельного микроскопа, в принципе, позволяет получить непосредственную экспериментальную информацию о природе дробнозаряженных квазичастиц (в полупроводниковых гетероструктурах этого сделать было нельзя, поскольку там двумерная электронная подсистема находится внутри образца).

Л.Опенков

1. E.Hall, *Am. J. Math.* **2**, 287 (1879).
2. K.von Klitzing et al., *Phys. Rev. Lett.* **45**, 494 (1980).
3. D.C.Tsui et al., *Phys. Rev. Lett.* **48**, 1559 (1982).
4. R.B Laughlin, *Phys. Rev. Lett.* **50**, 1395 (1983).

5. X.Du et al., *Nature* **462**, 192 (2009).

6. K.I.Bolotin et al., *Nature* **462**, 196 (2009).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Десорбция водорода из графана

Графен – монослой из атомов углерода – привлекает к себе внимание как с фундаментальной (безмассовые дираковские фермионы), так и с практической (нанoeлектроника) точек зрения. В работе [1] было теоретически предсказано существование графана – монослоя графена, полностью насыщенного водородом с обеих сторон. Совсем недавно это предсказание подтверждено экспериментально [2]. Графен (в отличие от графана) является диэлектриком и, в принципе, может использоваться в нанoeлектронных устройствах наравне с графеном. Кроме того, большое относительное содержание водорода в графана (7.7 масс. %) не исключает его применения в водородной энергетике. При анализе возможности практического использования графана необходимо, однако, сначала изучить его термическую устойчивость относительно десорбции водорода и определить соответствующий диапазон допустимых рабочих температур.

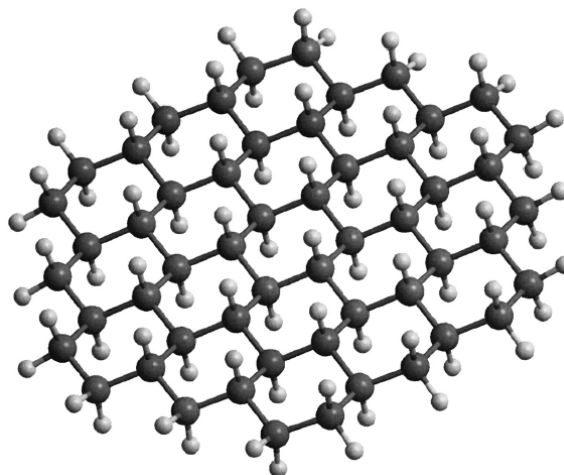


Рис. 1. Кластер $C_{54}H_{72}$ – фрагмент графана. Большие и маленькие шарики – атомы углерода и водорода соответственно.

В работе [3] представлены результаты исследования такой десорбции методом молекулярной динамики. Фрагмент графана моделировался кластером $C_{54}H_{72}$ (рис. 1), а задача состояла в определении температурной зависимости времени τ , требующегося для отрыва от кластера одного атома водорода, что соответствует десорбции $\sim 2\%$ атомов водорода из макроскопического образца графана, то есть формированию в последнем сравнительно большого (достаточного для существенного изменения электрических характеристик) количества дефектов. Для решения этой задачи использовался метод молекулярной динамики в диапазоне температур $T = (1300 \div 3000)$ К. Из рис. 2 видно, что при понижении температуры время десорбции τ экспоненциально возрастает от ~ 0.1 пс до ~ 10 нс. Зависимость логарифма τ от обратной температуры достаточно

хорошо аппроксимируется прямой линией, что говорит о применимости к описанию десорбции водорода стандартной формулы Аррениуса $\tau^{-1}(T) = A \cdot \exp(-E_a/k_B T)$ с не зависящим (или слабо зависящим) от температуры частотным фактором A и энергией активации E_a , определяемой по углу наклона прямой на рис. 2. Статистический анализ результатов моделирования дает $E_a = (2.46 \pm 0.17)$ эВ и $A = (2.1 \pm 0.5) \cdot 10^{17}$ сек $^{-1}$. Подстановка величин E_a и A в формулу Аррениуса позволяет определить величину τ при низких температурах, не доступных для “компьютерного эксперимента” из-за чрезмерной длительности расчетов. При $T = 300$ К величина τ оказывается огромной ($\sim 10^{24}$ с), что говорит о возможности использования графана в нанoeлектронных устройствах с комнатной рабочей температурой. Повышение температуры до 600 К приводит к уменьшению τ до ~ 1000 с. Эти результаты согласуются с экспериментальными данными работы [2], в которой для полной десорбции водорода из графана последний отжигали в атмосфере аргона при $T \approx 700$ К в течение суток.

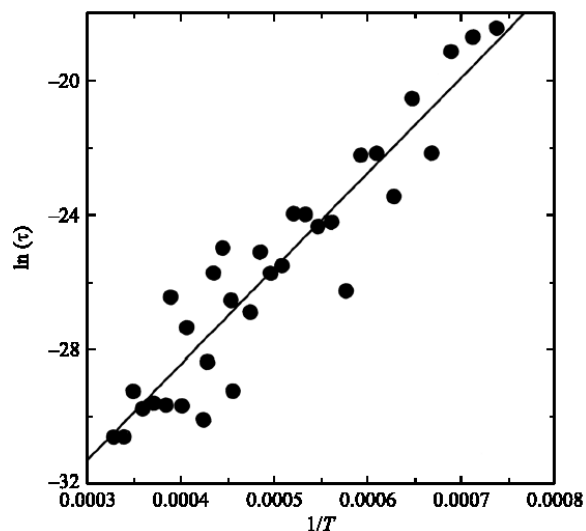


Рис. 2. Зависимость логарифма времени десорбции τ одного атома водорода из кластера $C_{54}H_{72}$ (в секундах) от обратной температуры T (в Кельвинах). Точки – результаты расчета. Сплошная линия – линейная аппроксимация методом наименьших квадратов.

Что касается возможности использования графана в топливных элементах автомобильных двигателей, то помимо выполняющихся для графана требований высокого содержания водорода (> 6 масс. %) и устойчивости при комнатной температуре, необходимым условием является также быстрая (в течение ~ 1 с) и почти полная десорбция водорода при температуре не выше 400 К. Как следует из полученных в [3] результатов, для графана это условие не выполняется, поскольку прочные ковалентные связи C-H, с одной стороны, обеспечивают высокую термическую устойчивость водорода, хемисорбированного на углеродных наноструктурах, а с другой – резко замедляют процесс десорбции. Таким образом, наиболее перспективным направлением

практического применения графана видится нанoeлектроника.

Л.Опенев

1. *Phys. Rev. B* **75**, 153401 (2007).

2. *Science* **323**, 610 (2009).

3. *Письма в ЖТФ* **36**, 69 (2010).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Плазмонный храповик: метаматериалы с круговым дихроизмом

В механике хорошо известны устройства, позволяющие вращаться оси в одном направлении и блокирующие вращение в другом – храповые механизмы (рис. 1а). Нечто похожее имеет место и в оптике при прохождении света сквозь среду с круговым дихроизмом: свет с одной круговой поляризацией проходит сквозь вещество, а с противоположной поляризацией – поглощается.

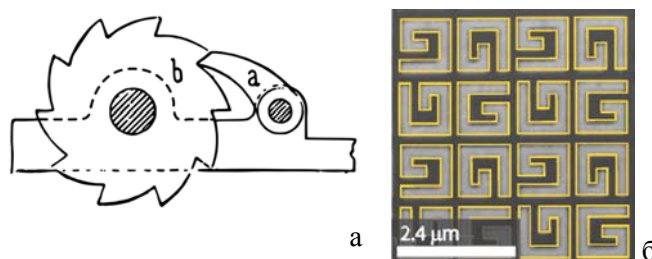


Рис. 1. а - Храповой механизм, состоящий из собачки (а) и зубчатого колеса (b); б - структуры с круговым дихроизмом, полученные с помощью электронно-лучевой литографии (изображение в электронном сканирующем микроскопе)

В нынешний век, когда среды с заданными электромагнитными свойствами (метаматериалы) создаются из искусственных “атомов”, сравнение циркулярно поляризующей среды с храповиком получает зримое воплощение: планарные структуры из металлических элементов, подобных изображенным на рис. 1б, отражают свет преимущественно одной круговой поляризации. Такие метаматериалы, состоящие из “атомов” с нарушенной зеркальной симметрией, называют хиральными.

В эксперименте, описанном в [1], исследователи из нескольких университетов Бельгии обнаружили круговой дихроизм в структуре, каждый элемент которой представляет собой миниатюрную литеру G, повернутую на угол, кратный 90° (рис. 1б). От такой поверхности отражается свет преимущественно правой круговой поляризации. Структура, изготовленная на основе элементов, представляющих зеркальное отображение буквы G, будет отражать, соответственно, левополяризованный свет.

Исследователи задалась целью изучить микроскопический механизм этого явления, для чего использовали нелинейный оптический эффект генерации второй гармоники, который обладает большой чувствительностью к состоянию поверхности и морфологии элементов на наномасштабах.

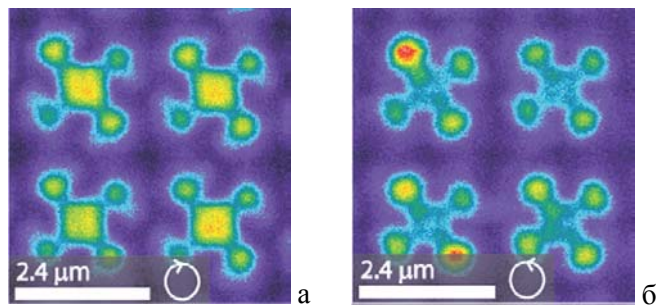


Рис. 2. Изображения, полученные в конфокальном оптическом микроскопе на второй гармонике при правополяризованном (а) и левополяризованном (б) падающем излучении.

Изображения с субволновым пространственным разрешением, полученные с помощью конфокального микроскопа, различаются для лево- и правополяризованного света (рис. 2а, б). Как полагают авторы [1], области на изображении с большой интенсивностью (“горячие места”), соответствуют коллективным колебаниям электронов (резонансу поверхностных плазмонов) в металлических наноструктурах, рисунок которых задает круговую поляризацию света в дальней зоне.

Другим любопытным результатом работы [1] являлось отсутствие дихроизма в структурах, вымощенных абсолютно одинаковыми элементами (например, поверхность, вымощенная литерами G с одинаковой ориентацией). Этот эффект нельзя объяснить интерференцией в дальней зоне, поскольку изображения уже в ближней зоне не различались при освещении право- и левополяризованным светом. Плазмонные резонансы при этом возникали только на каждом элементе по отдельности и не охватывали группы из четырех элементов, как это было в структурах с дихроизмом (рис. 2). Таким образом, на оптические свойства хиральных метаматериалов влияет не только форма составляющих его “атомов”, но и их расположение относительно друг друга.

А.Пятаков

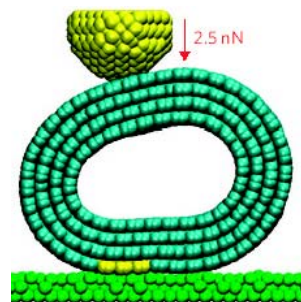
1. V.K.Valev et al., *Nano Lett.* **9**, 3945 (2009).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Анизотропное трение в нанотрубках

Проблема трения, возникающего при соприкосновении двух твердых поверхностей, - одна из древнейших в физике и материаловедении. В разные периоды нашей истории этой проблемой занимались величайшие умы своего времени, включая Леонардо да Винчи. С практической точки зрения задача здесь сводится к минимизации потерь энергии. Но и для фундаментальной физики трение также представляет большой интерес, поскольку далеко не все его микроскопические механизмы до конца поняты. При контакте макроскопических тел трение описывается простыми эмпирическими законами, в основе которых – коллективное поведение большого числа шероховатостей. А чем обусловлено трение на наноуровне? Этот вопрос приобретает осо-

бую актуальность при разработке новых наномеханических систем.



Взаимодействие иглы атомного силового микроскопа с многослойной нанотрубкой (вид вдоль оси нанотрубки).

В работе [1] была измерена сила трения $F_{тр}$ между иглой атомного силового микроскопа и боковой поверхностью многослойной углеродной нанотрубки, помещенной на кремниевую подложку (см. рис.). Оказалось, что знакомая всем еще по школе линейная зависимость $F_{тр}$ от силы давления F_N (в данном случае – иглы на нанотрубку) не выполняется, а вместо этого $F_{тр} \sim F_N^{2/3}$. Кроме того, выяснилось, что для нанотрубок диаметром менее 10 нм величина $F_{тр}$ различается при движении иглы перпендикулярно и параллельно оси нанотрубки. Численное моделирование взаимодействия иглы с нанотрубкой (выполненное методом молекулярной динамики) показало, что причина более сильного трения в перпендикулярном направлении заключается в том, что в области контакта возникает мягкая мода колебаний, которая эффективно “забирает” энергию поступательного движения иглы. Интенсивность отвода энергии зависит от хиральности нанотрубки. В дальнейшем предполагается изучить, как на $F_{тр}$ влияют конкретная форма иглы, поверхностные дефекты и другие факторы.

1. M.Lucas et al., *Nature Mater.* **8**, 876 (2009).

Нанореактор из фуллеренов C_{70}

Процесс самосборки становится все более привлекательным способом реализации механизма “снизу-вверх” для дизайна, а также изготовления наноструктур, в частности, материалов на основе хорошо всем известных фуллеренов. Затронув эту перспективную тематику в своей работе [1], авторы из Австралии демонстрируют простую методику получения тороидальных наноколец из молекул C_{70} , на верное, вторых по популярности после знаменитых “бакиболов” C_{60} . Собственно сам подход, основанный на использовании распространенного комплекса йодокрахмального комплекса и аскорбиновой кислоты, ранее уже был апробирован авторами на фуллеренах C_{60} и углеродных нанотрубках. И поэтому не удивительно, что дальнейший анализ с помощью сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) подтверждает “кольцеобразную” структуру с полостью в центре (рис. 1а, б). Авторы отмечают, что образование именно наноколец (по сравнению с нановискерами, получающимися из фуллеренов

C₆₀), скорее всего, вызвано формой кластера C₇₀. Однако больший интерес вызывает отнюдь не синтез, а возможность дальнейшего использования полученных структур в качестве своеобразных нанореакторов, например, для образования и роста нанокристаллов (рис. 2). В частности, для проверки этой гипотезы авторы использовали наночастицы серебра.

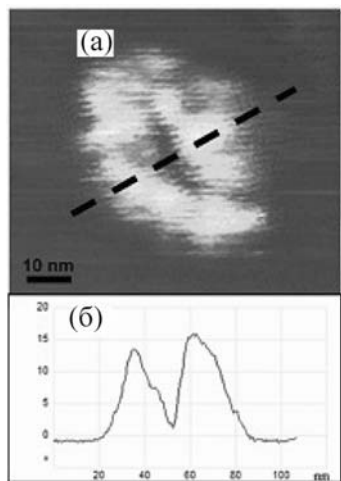


Рис. 1. а - СЗМ-изображение тороидальной наноструктуры из фуллеренов C₇₀; б - линия профиля нанокольца, полученная сканированием с помощью атомно-силового микроскопа вдоль пунктирной линии.

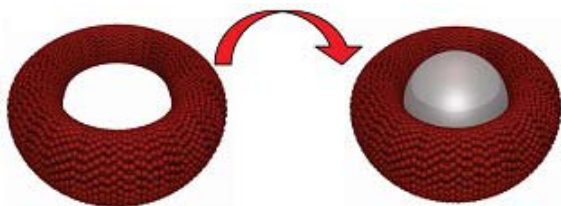


Рис. 2. Схематическое изображение нанокольца C₇₀ и одного из возможных его приложений — реактор для выращивания наночастиц.

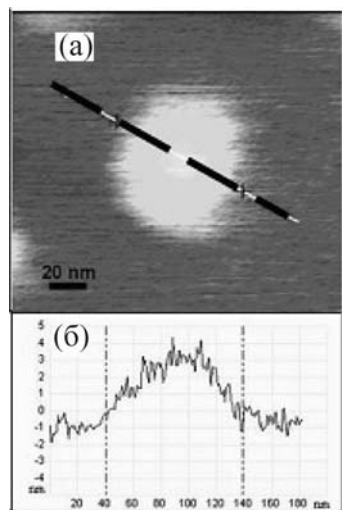


Рис. 3. СЗМ-изображение наноконструкта серебро/C₇₀/крахмал, демонстрирующее отсутствие внутренней полости (а), что лишний раз подтверждается линией профиля, полученной сканированием с помощью атомно-силового микроскопа вдоль пунктирной линии (б).

Аскорбиновая кислота использовалась не только для восстановления ионов серебра *in situ* но и для высвобождения йода из йодокрахмального комплекса. Дальнейший СЗМ-анализ свидетельствует в пользу трансформации нанокольца C₇₀ в глобулярные структуры с заполненной центральной полостью (рис. 3а, б). Характеристический размер наночастиц серебра составил 8-12 нм, что соответствует

минимальному радиусу нанокольца, а их кристаллическая природа подтверждена просвечивающей электронной микроскопией высокого разрешения.

Подводя итог, отметим, что в представленной работе авторам не только удалось глубже понять процесс самосборки на примере углеродных соединений, но и продемонстрировать интересные свойства и функциональность полученных наноструктур.

М.Маслов

I. K.S.Iyer et al., J. Am. Chem. Soc. 131, 16338 (2009).

Углеродные нанотрубки повышают интенсивность электролюминесценции люминофора

Явление электролюминесценции состоит в свечении некоторых материалов (люминофоров) в результате действия внешнего электрического поля. Благодаря возможности изготовления тонких электролюминесцентных экранов большой площади, высокому коэффициенту светоотдачи и отсутствию необходимости работы в вакууме данное явление в течение многих лет рассматривается с точки зрения перспектив разработки нового типа дисплеев. Однако, недостатком подобных систем, препятствующим их широкому распространению, является необходимость использования достаточно высоких напряжений, усложняющая конструкцию дисплея и существенно повышающая его массу. Эффективный способ преодоления указанного недостатка был предложен недавно коллективом исследователей из южнокорейской компании Самсунг [1], которым в результате добавления к люминофору углеродных нанотрубок (УНТ) удалось существенно снизить напряжение, достаточное для обеспечения электролюминесценции.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. в качестве электродов использовали прозрачные проводящие подложки, изготовленные из стекла на основе оксида индия-олова (ИТО). Источником электролюминесценции служил зеленый люминофор ZnS:Cu,Al с добавлением однослойных УНТ, синтезированных стандартным электродуговым методом, который наносили на изолирующий слой SiO₂ толщиной 300 нм. Для введения УНТ в люминофор суспензию ZnS:Cu,Al в этилцеллюлозе в течение 6 ч перемешивали с суспензией УНТ в бутилкарбитоле, что приводило к образованию пасты, легко наносимой на подложку. Полученную пленку просушивали в течение 30 мин при температуре 130°C. Эксперименты проводили при подаче на электроды импульсного напряжения с частотой повторения импульсов в диапазоне 8 – 40 кГц. Измерения показывают, что добавление УНТ в люминофор приводит к существенному снижению напряжения, обеспечивающего детектируемый уровень электролюминесценции. Так, при частоте повторения импульсов 10 кГц указанная величина в результате добавления УНТ снижается с 1000 до 150 В.

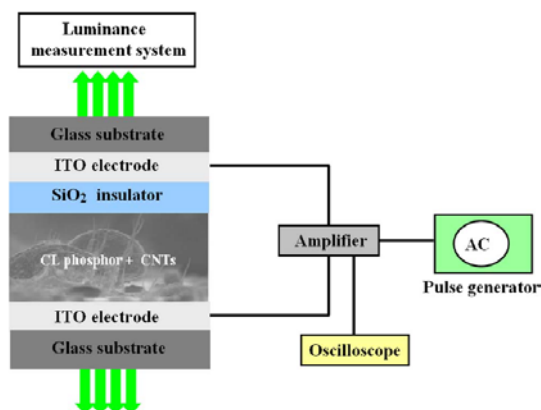


Рис. 1. Схема установки для исследования электролюминесценции.

На рис.2 приведены зависимости яркости свечения люминофора от приложенного напряжения для составов с различным содержанием УНТ. Как видно, яркость люминесценции заметно возрастает с увеличением концентрации УНТ в люминофоре. Однако этот рост насыщается при концентрации около 1%, что связано с трудностью приготовления однородной суспензии. В качестве механизма влияния добавления УНТ на излучательные свойства люминофора авторы рассматривают известный эффект усиления электрического поля в окрестности протяженных проводников. Фактор усиления по порядку величины равен аспектному отношению нанотрубки и для использованных в работе однослойных УНТ может достигать значений порядка 1000. Тем самым, введение в люминофор нанотрубок приводит к возникновению участков с повышенной напряженностью электрического поля, где происходит эффективное ускорение электронов, способных вызвать электролюминесценцию.

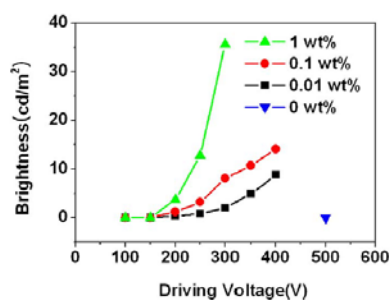


Рис. 2. Зависимости яркости свечения люминофора от приложенного напряжения для составов с различным содержанием УНТ.

А.Елецкий

1. M.J.Bae et al., *Appl. Phys. Lett.* **95**, 071901 (2009).

Прозрачные проводящие электроды на основе графеновых пленок

Прозрачные проводящие электроды широко используются во многих устройствах современной электроники, таких как солнечные элементы, дисплеи, контактные экраны и т.п. Обычно в качестве таких электродов применяют оксид индия-олова (ИТО), однако в связи с ограниченными запасами индия на Земле возникает потребность в замене этого материала дру-

гим, более распространенным. Недавно, в связи с открытием графенов, появилась перспектива использования этого нового материала для создания прозрачных электродов. Преимущества данного материала связаны с присущим ему сочетанием высокой химической, термической и механической стабильности с хорошей проводимостью, высокой прозрачностью и теплопроводностью. Детальное исследование возможности применения этого материала в качестве прозрачного электрода выполнено группой сотрудников University of Texas at Austin (США) [1]. Графеновые пленки выращивали методом химического осаждения паров (CVD), хорошо себя зарекомендовавшим при синтезе углеродных нанотрубок. В качестве подложек при осаждении графенов авторы [1] использовали медную либо никелевую фольгу толщиной 50 и 25 мкм, соответственно. Перед процедурой осаждения подложки с целью удаления оксидной пленки в течение 30 мин отжигали в атмосфере водорода (10 Торр) при температуре 900°C. Осаждение графеновых пленок производилось в течение 10 мин при давлении метана 50 Торр. В случае медных подложек температура роста составляла 900 и 850°C, а в случае никелевой пленки синтез проводили при 950, 900, и 850°C. На толщину синтезируемой графеновой пленки влияла как температуры синтеза, так и материал подложек, характеризующихся различным уровнем растворимости углерода (~ 0.001 ат. % при 900 °C для Cu и ~ 0.1 ат. % при 900 °C для Ni). По завершении синтеза подложку охлаждали до комнатной температуры со скоростью 10 °C/c. Затем подложку в течение нескольких часов подвергали травлению в водном растворе Fe(NO₃)₃ (1 М/л). В результате такой обработки графеновые пленки отделялись от подложки. Некоторые пленки сворачивались в цилиндр либо сферу, а другие плавали на поверхности раствора благодаря силам поверхностного натяжения. Эти плавающие пленки извлекали из раствора с помощью стеклянной пластины SiO₂/Si или мембраны и тщательно промывали в деионизованной воде.

Полученные пленки исследовали с помощью оптического микроскопа, КР спектрометра, а также сканирующего и просвечивающего электронных микроскопов. Результаты этих исследований показали, что пленки имеют толщину от 3 до 50 нм и состоят из нескольких графеновых слоев, отстоящих друг от друга на 0.335 нм. Однородные участки пленок имеют поперечные размеры в несколько десятков мкм. Прозрачность пленок, помещенных на стеклянную подложку, измеряли методом эллипсометрии. Измерения проводимости пленок были выполнены с помощью четырехзондового метода, позволяющего исключить влияние контактов. Результаты измерений прозрачности и проводимости согласуются друг с другом. Чем выше прозрачность пленки, тем меньше ее проводимость. Кроме того, результаты измерения проводимости пленок согласуются с табличными величинами проводимости графита с уче-

том реальной толщины пленки. Так, удельное сопротивление пленки, прозрачность которой равна 85%, составило 200 Ом/см².

А.Елецкий

1. W.Cai et al., *Appl. Phys. Lett.* **95**, 123115 (2009).

ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

Квантовая механика: плохие новости для путешественников во времени



Путешествия во времени – одна из излюбленных тем писателей-фантастов. Но дискуссии о возможности таких путешествий можно

встретить и на страницах серьезных научных журналов. Так, например, недавно было высказано утверждение, что замкнутые времяподобные кривые (closed timelike curves, CTC), когда частица при своем движении по пространству-времени возвращается в исходную точку, могут помочь при решении некоторых сложных задач квантовой информатики. Однако в работе [1] (см. также комментарий в *Nature Physics* [2]) показано, что это не так. Точнее, это могло бы быть так, если бы исходное состояние было абсолютно “чистым”. Но в реальности всегда имеет место смесь нескольких состояний, а поскольку, в отличие от стандартной квантовой механики, модели с CTC нелинейны, то результат эволюции такой смеси нельзя описать, рассматривая эволюцию каждого из входящих в нее состояний по отдельности. Не исключено, впрочем, что современная квантовая механика является лишь предельным случаем более общей нелинейной теории, которая допускает существование CTC.

1. Ch.H.Bennett et al., *Phys. Rev. Lett.* **107**, 170502 (2009).
2. A.Trabesinger, *Nature Phys.* **5**, 785 (2009).

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ



Вышла в свет книга под редакцией К.М. Салихова “Электронный парамагнитный резонанс: От фундаментальных исследований к перспективным применениям и премия имени Завойского”, AXAS Publishing Ltd., Веллингтон, Новая Зеландия (2009) (“Electron paramagnetic resonance: From fundamental research to pioneering applications & Zavoisky Award”).

Книга открывается вступительным словом Виталия Лазаревича Гинзбурга.

Первая часть книги посвящена первооткрывателю ЭПР Евгению Константиновичу Завойскому и изложению основ ЭПР.

Во второй части представлены лауреаты Международной премии имени Е.К. Завойского. Как правило, приведены сюжеты, написанные лауреатами специально для этой книги.

В следующей части приведены примеры применения ЭПР в различных областях науки, техники, технологии, медицины. Примеры взяты из материаловедения (сверхпроводники, алмазы, лазерные кристаллы и т.д.), фотосинтеза, молекулярного магнетизма, контроля качества продуктов и дозиметрии, археологии и т.д. Все сюжеты написаны ведущими экспертами, признанными в мире лидерами мировой науки. При этом и авторы, и редактор книги приложили максимум усилий, чтобы сделать изложение как можно более понятным любому любознательному читателю, конечно, сохраняя научный уровень.

Следует отметить прекрасное оформление издания. Эту книгу можно заказать по Интернету по адресу: <http://www.treasuresofeureka.com> или надо набрать в Google ее английское название.

Следует отметить прекрасное оформление издания. Эту книгу можно заказать по Интернету по адресу: <http://www.treasuresofeureka.com> или надо набрать в Google ее английское название.

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.Опенков, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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