

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Квазичастицы в $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$

Сканирующая туннельная спектроскопия (STS) позволяет определить локальную плотность квазичастичных состояний как функцию координат и энергии, а затем, используя преобразование Фурье, получить информацию о характеристиках квазичастиц в импульсном пространстве. В ВТСП $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ рассеяние электронов на примесях приводит к возникновению на STS-спектрах интерференционной картины, которую интерпретируют в рамках так называемой “модели октета” [1]. При этом в окрестности линии, соединяющей точки $(0,\pi)$ и $(\pi,0)$, то есть вблизи антиферромагнитной зоны Бриллюэна, наблюдается резкое уменьшение спектральной интенсивности, которое обычно объясняют исчезновением интерференции квазичастиц (и самих квазичастиц) в антиузловом направлении. В то же время фотоэмиссия с угловым разрешением (ARPES) указывает на то, что при $T < T_c$ антиузловые квазичастицы существуют в широком диапазоне концентраций дырок $p > 0.08$. Как показано в работе [1], это очевидное противоречие связано просто-напросто с различной природой одночастичных (ARPES) и двухчастичных (STS) возбуждений. Используя простую модель, авторы [2] продемонстрировали, что отсутствие интерференции вовсе не означает отсутствие собственно квазичастиц в антиузловом направлении. Этот результат представляется важным по той причине, что именно в антиузловом направлении при $T > T_c$ наблюдается псевдощель, которая при охлаждении до $T < T_c$ плавно переходит в сверхпроводящую щель.

1. K. McElroy et al., *Nature* **422**, 592 (2003).

2. I.M. Vishik et al., *Nature Phys.* **5**, 718 (2009).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Экспериментальная реализация возбужденного состояния сильнокоррелированной квантовой системы

В низкоразмерных многочастичных системах особую роль играют квантовые флуктуации и корреляции. При изучении таких систем обычно ограничиваются их основным состоянием. Между тем ряд наиболее интересных физических явлений (от вихревых решеток в сверхтекучих жидкостях до топологических дефектов в жидкостях спиновых) наблюдается только в возбужденных долгоживущих фазах. Уникальный объект для исследования эффектов сильных межчастичных корреляций представляют собой бозе-атомы, охлажденные до сверхнизких температур. В работе [1] австрийские физики сообщили о наблюдении метастабильного возбужденного состояния системы атомов Cs в одномерной оптической решетке. Это состояние возникает в окрестности индуцированного магнитным полем резонанса Фешбаха в случае, когда взаимодействие между атомами отвечает их взаимному притяжению. В дальнейшем представляет интерес исследовать механизмы перехода из возбужденного состояния в основное, определяющие время жизни метастабильной фазы.

1. E. Haller et al., *Science* **325**, 1224 (2009).

И далее ...

- 2 Нарушение неравенства Белла в джозефсоновских фазовых кубитах

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

- 2 Устойчивость границы раздела графен/графан к термическому разупорядочению
- 3 Контролируемый синтез нанокристаллов палладия

НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 4 Наноматериалы и растения
- 5 Вращающиеся фотонные кристаллы как элемент цветных дисплеев

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 7 Сверхрешетки в нанотрубках
- Графены способны пропускать ток до 10^8 А/см²

- 8 Получение графенов большой площади в результате термического разложения карбида кремния

КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 Юбилейная Научная сессия ОФН РАН, посвященная 90-летию академика И.М. Халатникова

Научная сессия ОФН РАН
“Внегалактическая астрономия”

Нарушение неравенства Белла в джозефсоновских фазовых кубитах

В квантовой механике процесс измерения играет особую роль: система “выбирает” одно из возможных значений измеряемой величины, причем делает это принципиально непредсказуемым образом. Если бы результат измерения определялся скрытыми от наших глаз классическими процессами, то для запутанных состояний выполнялись бы так называемые неравенства Белла [1]. Ранее на нескольких конкретных примерах было экспериментально показано, что эти неравенства не выполняются, то есть квантовая механика дает полное описание состояния, не требующее каких-то дополнительных предположений. В работе [2] сотрудники Univ. of California at Santa Barbara (США) лишним раз продемонстрировали полноту квантовой механики, на этот раз касательно твердотельной системы из пары перепутанных джозефсоновских фазовых кубитов (аналогов частиц со спином $1/2$). Количественной характеристикой при этом является белловский сигнал S , который оказался равным 2.0732 ± 0.0003 , превысив классическое значение $S = 2$, вытекающее из неравенств Белла. Таким образом, квантовым законом подчиняются не только отдельные фотоны и электроны, но и макроскопические электрические цепи.

1. J. Bell, *Physics* **1**, 195 (1964).

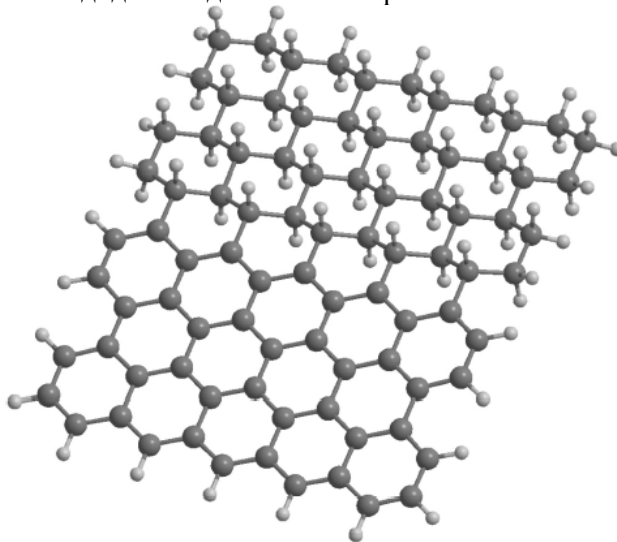
2. M. Ansmann et al., *Nature* **461**, 504 (2009).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Устойчивость границы раздела графен/графан к термическому разупорядочению

Недавно в работе [1] было теоретически предсказано существование графана - монослоя графена, полностью насыщенного водородом с обеих сторон. После того, как графан был действительно синтезирован, [2] встал вопрос о его возможном применении. Графан, в отличие от графена, является диэлектриком и в принципе может использоваться в нанoeлектронике в комбинации с графеном. Например, можно попытаться изготовить нанoeлектронные устройства различного типа путем селективной сорбции водорода на графене или графеновых нанолентах. На первый взгляд, кажется, что рабочие температуры таких устройств должны быть чрезвычайно низкими, поскольку термоактивированная миграция атомов водорода через границы раздела графен/графан приведет к быстрому размытию этих границ и неконтролируемому изменению электрофизических характеристик прибора. Однако в работе [3] при проведении “компьютерного эксперимента” по численному моделированию динамики системы графен/графан (см. рис.) было обнаружено, что граница раздела “сопротивляется” термическому разупорядочению и остается атомарно

резкой даже при высокой (~ 1500 К) температуре. При этом наблюдалась следующая картина. Вслед за миграцией одного атома водорода на длину связи C-C следовал, как правило, быстрый (за время ~ 1 пс) перескок этого атома в исходное положение, тогда как его повторная миграция в область графена имела место чрезвычайно редко. Иногда после первого элементарного акта миграции освободившийся узел занимал атом водорода из другой подрешетки, который, однако, вскоре (опять же за время ~ 1 пс) возвращался на свое место, а затем восстанавливалась начальная конфигурация. Регенерация границы раздела графен/графан наблюдалась и после гораздо более сложной последовательности перескоков сразу нескольких атомов водорода, принадлежащих разным подрешеткам. Чтобы выяснить причину термической устойчивости границы графен/графан, авторы [3] изучили вид гиперповерхности потенциальной энергии системы как функции координат составляющих ее атомов и нашли высоты энергетических барьеров, разделяющих различные атомные конфигурации. Оказалось, что в подавляющем большинстве случаев барьеры для переходов в более далекие от исходной конфигурации существенно выше барьеров для обратных переходов. Поэтому, согласно формуле Аррениуса для вероятности перехода в единицу времени, система гораздо больше времени проводит в упорядоченной конфигурации. Таким образом, граница раздела (если она является прямой линией) очень устойчива (можно даже сказать - аномально устойчива) к термическому разупорядочению, что делает гибридные системы графен/графан перспективными кандидатами для нанoeлектроники.



Кластер $C_{88}H_{70}$, использованный в [3] для моделирования системы графен/графан. Большие и маленькие шарики - атомы углерода и водорода, соответственно.

Периферийные атомы водорода требуются для пассивации “болтающихся” связей.

Л. Оленов

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

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

3. *Письма в ЖЭТФ* **90**, 505 (2009).

Контролируемый синтез нанокристаллов палладия

Совсем недавно, в августовском номере ПерсТа [1], освещалась проблема синтеза “благородных” наночастиц на примере дендритных платиновых наноструктур (ДПН). ДПН обладают значительной удельной площадью поверхности и являются эффективными катализаторами. Развитие “благородной” темы нашло свое продолжение в работе [2], в фокусе которой оказался еще один металл платиновой группы – палладий (который, к тому же, гораздо дешевле). Катализ, безусловно, является важной проблемой, и, по мнению авторов, исследование палладиевых наночастиц позволит сделать еще один шаг вперед в этом направлении. Авторы также отмечают, что в настоящее время конфигурации получаемых металлических нанокристаллов ограничены, в основном, “плоскими” или “выпуклыми” кластерными формами, поэтому, предложенный в работе [2] несложный процесс контролируемого синтеза “вогнутых” палладиевых нанокристаллов интересен также и с фундаментальной точки зрения.

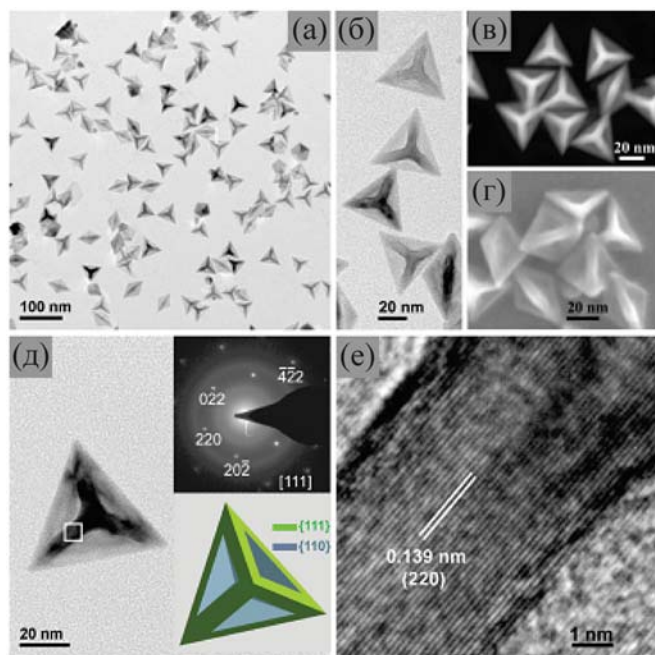


Рис. 1. Изображения нанокристаллов палладия, полученные методами просвечивающей электронной микроскопии (а, б); сканирующей просвечивающей электронной микроскопии в режиме HAADF (high-angle annular dark field – получение темнопольных изображений с использованием электронов, рассеянных на большие углы) (в) и сканирующей электронной микроскопии (г). Увеличенное изображение изолированного “вогнутого” палладиевого тетраэдра, полученное с помощью просвечивающей электронной микроскопии (д); на верхней вставке показана соответствующая дифракционная картина SAED (selected-area electron diffraction – локальная дифракция электронов), на нижней вставке изображена идеальная структура “вогнутого” палладиевого тетраэдра. Изображение области, обозначенной белым квадратом на (д) получено методом просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (е).

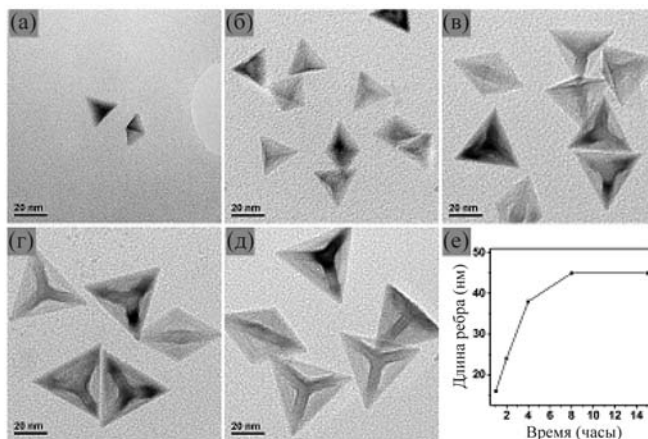


Рис. 2. Изображения “вогнутых” полиэдральных нанокристаллов палладия, полученные с помощью просвечивающей электронной микроскопии в зависимости от времени протекания реакции: 1 (а), 2 (б), 4 (в), 8 (г) и 15 (д) часов. График зависимости длины ребра нанокристалла от времени протекания реакции (е).

Наночастицы палладия синтезировали следующим образом. Сначала ацетилацетонат палладия ($\text{Pd}(\text{acac})_2$), поливинилпирролидон (PVP) и раствор формальдегида смешивали с бензиловым спиртом. Получившийся однородный раствор затем помещали в покрытый тефлоном автоклав и выдерживали в течение восьми часов при 100°C . Конечные продукты выделяли центрифугированием с последующей промывкой в этаноле и ацетоне. На изображениях, полученных с помощью просвечивающей электронной микроскопии (рис. 1 а, б) видно, что “вогнутые” полиэдральные нанокристаллы палладия являются доминирующим продуктом реакции, их выход составил более 80%. Они представлены двумя конфигурациями: тетраэдральной формой и треугольной бипризмой в соотношении $\sim 3:1$. Длины сторон равны 45 и 35 нм, соответственно. “Вогнутость” структуры полученных нанокристаллов также подтверждали сканирующей просвечивающей электронной микроскопией с детектором электронов, рассеянных на большие углы (HAADF-STEM) и сканирующей электронной микроскопией (рис. 1 в, г). Исследования изолированного тетраэдра с помощью локальной дифракции электронов и просвечивающей электронной микроскопии (рис. 1 д, е) отчетливо демонстрируют его монокристаллическую структуру. Непосредственно процесс формирования полиэдров палладия в зависимости от времени протекания реакции показан на рис. 2.

Наиболее интенсивный рост наблюдался в течение первых восьми часов, дальнейшее изменение размеров наночастиц практически отсутствует (рис. 2е). Кроме того, поэкспериментировав с реагентами, авторам удалось получить нанокристаллы палладия с различной “степенью вогнутости” – важной характеристикой, напрямую влияющей на каталитическую активность наночастиц. Поэтому вполне возможно, что грамотное использование каталитических свойств нанокристаллов палладия откроет

новые перспективы дальнейшего синтеза удивительных соединений наномира.

М. Маслов

1. *ПерсТ* 16, вып. 15/16, с. 4 (2009).

2. X.Huang et al., *J. Am. Chem. Soc.* 131, 13916 (2009).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Наноматериалы и растения

Ученые активно изучают воздействие наноматериалов на живые организмы, однако исследований, относящихся к растениям, не так уж много. Об одной из таких работ недавно сообщалось в *ПерсТе* [1]. Ее авторы впервые продемонстрировали, что одностенные углеродные нанотрубки (ОСНТ) могут не только проходить через прочные клеточные стенки растений, но и доставлять в клетки, как небольшие адсорбированные молекулы, так и макромолекулы (ДНК). Дополнительная проверка показала, что ОСНТ не токсичны для клеток (по крайней мере, для культуры табака, которую использовали исследователи), а значит, могут быть использованы для создания эффективных систем доставки. Но этих данных, конечно, недостаточно, чтобы ответить на важный вопрос – возможны ли поглощение из окружающей среды и аккумуляция наноматериалов в растениях, и если да, то как это повлияет на биологические и биохимические процессы? И что может произойти с продовольственными сельскохозяйственными культурами и получаемыми из них продуктами питания?



Ученые из Clemson University (США) представили первое свидетельство поглощения и накопления углеродных наночастиц в одном из самых важных сельскохозяйственных растений - в рисе, которым питается более половины населения земного шара [2].

Были приготовлены суспензии фуллеренов C_{70} и многостенных углеродных нанотрубок (МСНТ) в растворе природных органических веществ NOM.

(NOM (*natural organic matter*) – это присутствующая в окружающей среде гетерогенная смесь разложившихся растительных и животных остатков). Как ранее выяснили американские исследователи [3], присутствие NOM в воде способствует диспергированию нанотрубок в гораздо большей степени, чем специально применяемые для этой цели поверхностно-активные вещества (ПАВ). Приготовленная авторами [3] суспензия МСНТ в воде поверхностного слоя реки Суванни (с высоким содержанием NOM) сохранялась больше месяца; при этом концентрация диспергированных нанотрубок была намного выше, чем в воде с добавлением ПАВ, но без природных

органических веществ. Механизм не совсем изучен и, конечно, зависит от характеристик как NOM, так и нанотрубок, но результаты говорят о необходимости учитывать реальную возможность переноса наноматериалов водной окружающей средой, в том числе и к растениям.

В природных водах концентрация NOM обычно находится в пределах 1-100 мг/л. Поэтому авторы работы [2] приготовили модельный раствор NOM 100 мг/л и добавили туда фуллерены C_{70} и МСНТ (по отдельности). Свежесобранные зерна риса в течение двух недель проращивали в так называемом буфере для проращивания с добавлением суспензии C_{70} -NOM и МСНТ-NOM разной концентрации. Были подготовлены и контрольные экземпляры (без NOM и наночастиц). Затем ростки высадили в большие горшки с землей и отправили в оранжерею. Так получили растения первого поколения. Через 6 месяцев с растений “с добавками C_{70} ” собрали урожай, и зерна опять проращивали в течение 2 недель, но уже без добавления наночастиц. Из них получили растения второго поколения.

Ткани растений были исследованы с помощью микроскопии на разных этапах развития. Через неделю после начала проращивания растений 1-го поколения черные агрегаты были обнаружены в зернах и корнях риса “с добавками C_{70} ”, в меньшей степени – в стебле и листьях, причем в стебле, в основном, вблизи сосудистой системы. Очевидно, распространение наночастиц идет от зерен и корней с водой и питательными веществами. Черные агрегаты присутствовали даже в тканях листьев второго поколения, хотя и гораздо реже (рис. 1)!

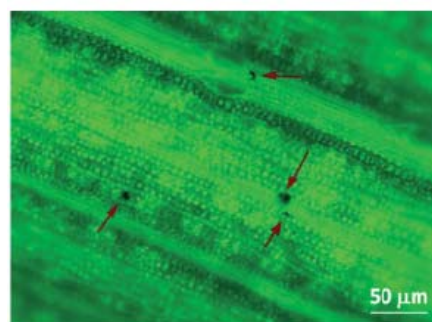


Рис.1. Лист “второго поколения”. Агрегаты фуллеренов показаны стрелками.

Исследования с использованием рамановской и ИК-спектроскопии подтвердили, что черные агрегаты состояли из фуллеренов. Кроме того, данные этих исследований и микроскопии показали, что для двухнедельных растений 1-го поколения частицы C_{70} находятся, в основном, в корнях, стеблях и листьях, независимо от исходной концентрации C_{70} (20-800 мг/л). Для 6-месячных “взрослых” растений фуллерены сосредоточены внутри или вблизи сосудистой системы стебля. В корнях C_{70} не осталось. Это подтверждает постепенный перенос наноматериалов от корней растений к листьям.

При большой концентрации агрегаты C_{70} могут даже закупорить сосудистую систему или перейти в соседние клетки, мешая поступлению воды и питательных веществ (рис.2). Развитие растения может замедлиться. Действительно, рис, выращенный “с добавками C_{70} -NOM”, зацвел, по меньшей мере, на месяц позже, и скорость образования зерен снизилась на 4,6% по сравнению с контрольными растениями или экземплярами, которые проращивали с добавлением NOM, но без C_{70} .

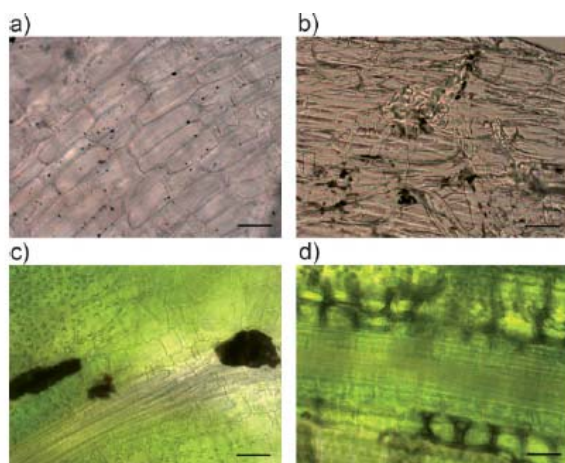


Рис.2. а - Заметное поглощение C_{70} корнями растений; в - малое количество МСНТ в корнях; с - агрегация C_{70} в сосудистой системе и соседних тканях листа; d - переход C_{70} в соседние ткани листа (концентрация наночастиц везде 400 мг/л, показана шкала 25 мкм).

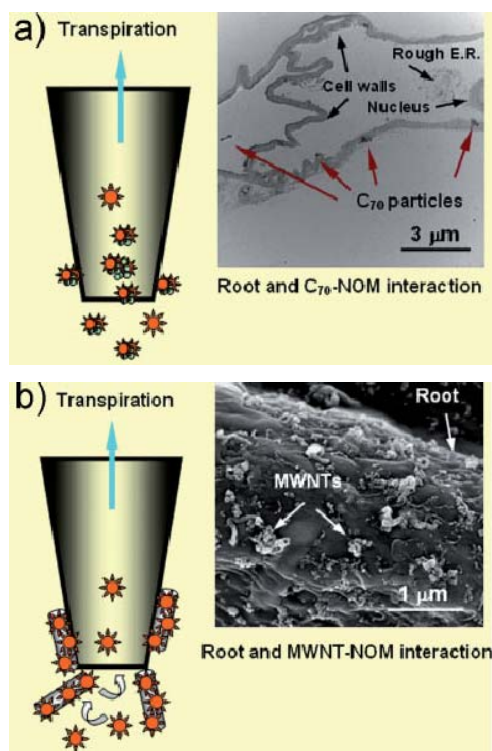


Рис.3. Схема поступления C_{70} (а) и МСНТ (b) в корни растений. На врезках показаны: TEM изображение переноса C_{70} по клеткам корней (а) и SEM изображение МСНТ, адсорбированных на корнях (b).

В отличие от фуллеренов, поглощение МСНТ (20-800 мг/л) оказалось незначительным. Немного черных агрегатов появилось в сосудистой системе, но в тканях растений они практически отсутствовали. По-видимому, из-за своей формы нанотрубки труднее, чем фуллерены, проникают в корни растений (рис.3). Однако при высокой концентрации они могут адсорбироваться на поверхности корней и корневых волосков и тоже мешать поступлению питательных веществ, воды, NOM. Соответственно, развитие растений замедляется.

И в самом деле, МСНТ-NOM растения риса так же, как и, с C_{70} -NOM зацвели, по меньшей мере, на месяц позже растений “без МСНТ”, а скорость формирования зерен снизилась на 10%. Вес 100 новых зерен по сравнению с контролем уменьшился на 8,6% и 11,2% для C_{70} -NOM и МСНТ-NOM растений, соответственно.

Среди авторов представленных исследований – биофизики, материаловеды, специалисты по биологии растений, и полученные ими новые важные результаты еще раз подтверждают эффективность междисциплинарного подхода к решению таких серьезных вопросов. Ученые показали, как поглощаются и распределяются фуллерены в растениях риса, и даже обнаружили передачу C_{70} следующему поколению через семена. Подвижность наночастиц усиливается благодаря присутствию NOM. Дальнейшие исследования позволят прояснить, насколько эти процессы влияют на безопасность продуктов питания, и каковы могут быть генетические последствия взаимодействия наноматериалов с растениями.

О.Алексеева

1. [ПерсТ 16, вып. 9, с.6 \(2009\).](#)
2. S.Lin et al., *Small* 5, 1128 (2009).
3. H.Hyung et al., *Environ. Sci.&Technol.* 41, 179 (2007).

Вращающиеся фотонные кристаллы как элемент цветных дисплеев

О возможности создания дисплеев, управляемых магнитным полем, говорили еще во второй половине прошлого века. Наиболее естественным решением было бы использование магнитооптических материалов, в которых имеет место вращение плоскости поляризации света (эффект Фарадея). Это явление позволяет создать дисплей по аналогии с жидкокристаллическим: управление интенсивностью света, проходящего сквозь поляризатор, расположенный на выходе ячейки, осуществляется изменением плоскости поляризации света. Однако повсеместному распространению магнитооптических мониторов мешает тот факт, что вместе с усилением эффекта Фарадея растет и оптическое поглощение. Так, наиболее известные магнитооптические материалы – ферриты-гранаты практически непрозрачны в синей и фиолетовой обла-

тях спектра, что не позволяет создавать на их основе цветные дисплеи.

Большие надежды в последнее время возлагают на устройства из неоднородных сред с показателем преломления, меняющимся с пространственным периодом порядка длины волны – фотонные кристаллы. Управление свойствами такой структуры, а значит и цветом элемента дисплея, можно осуществлять, изменяя показатель преломления для циркулярно поляризованных волн с помощью магнитного поля. Однако технические проблемы, описанные выше, так и остаются нерешенными. Гораздо ближе к задаче построения магнитохромного дисплея подошли корейские ученые [1], воспользовавшись другим свойством фотонных кристаллов – зависимость отраженного цвета от угла падения волны.

Принцип действия элемента схематически изображен на рис. 1. В сфере из полимера (диаметр 10-100 мкм) находятся периодически расположенные магнитные наночастицы. Микросфера может свободно вращаться, будучи взвешена в машинном масле. Если излучение падает в направлении магнитной цепочки (или под острым углом меньше 15°), то цвет отраженного излучения определяется в основном расстоянием между наночастицами. Если же под действием магнитного поля частица повернется так, что цепочки магнитных частиц ориентируются перпендикулярно лучу света, то микросфера будет бесцветной.

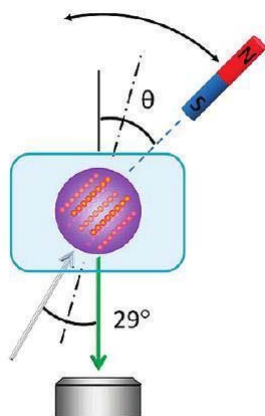


Рис. 1 Полимерная микросфера с периодически расположенными наночастицами изменяет цвет отраженного излучения при вращении под действием магнитного поля.

Микросферы трех основных цветов в “включенном” и “выключенном” состоянии представлены на рис. 2. Различие в цвете объясняется различным диаметром магнитных наночастиц (127, 154, и 197 нм, соответственно), расположенных внутри микросфер.

Процесс изготовления микросфер, являющийся хорошим примером стратегии “снизу вверх” (“bottom-up”) основан на явлении самоорганизации:

- смесь наночастиц Fe_3O_4 и полиэтилендиакрилата размешивали в машинном масле до образования микрокапель, взвешенных в масле;
- магнитные наночастицы внутри капель самоупорядочивались в периодические структуры,

период которых определялся балансом сил электростатического отталкивания и магнито-статического притяжения (величину последней можно было регулировать внешним магнитным полем);

- при освещении получившейся взвеси ультрафиолетовым излучением происходила полимеризация капелек полиэтилендиакрилата и, тем самым, в них закреплялись периодические структуры из магнитных наночастиц.

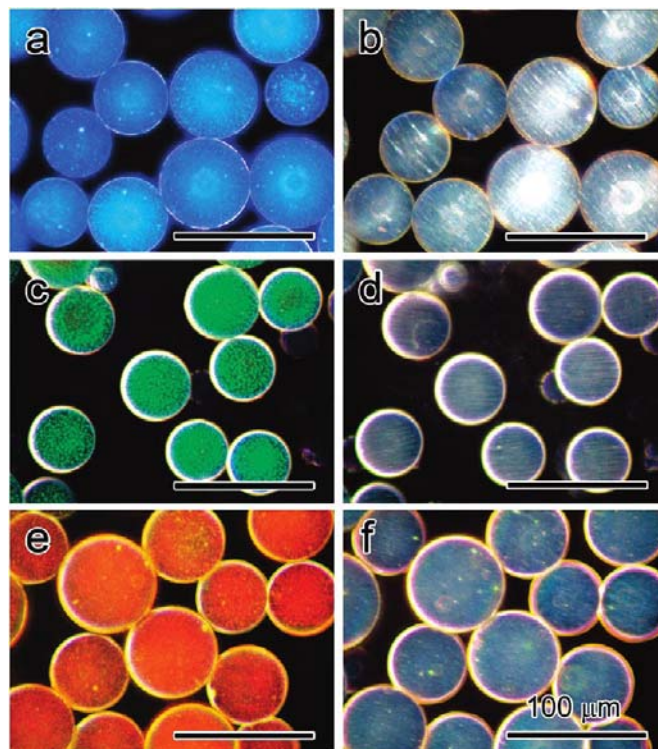


Рис. 2. Микросферы различных цветов: а), с), е) в “включенном” состоянии (ориентация цепочек магнитных наночастиц параллельно лучу зрения), б), d), f) в “выключенном” состоянии (ориентация перпендикулярно лучу зрения).

Очевидным недостатком дисплеев на таких микросферах является относительно небольшой угол обзора – около 30° . Тем не менее, даже в текущем состоянии они могут представлять интерес для приложений. Если же управление можно будет осуществлять с помощью не только магнитного, но и электрического поля, то это позволит дисплеям на вращающихся микросферах завоевать нишу на едва нарождающемся рынке цветной электронной бумаги.

А. Пятаков

I. J. Ge et al., J. Am. Chem. Soc. 131, 3484 (2009).

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

Сверхрешетки в нанотрубках

Для использования полупроводниковых нанотрубок в наноэлектронных устройствах (вместо кремния и органических полупроводников) необходимо научиться модулировать электронную структуру нанотрубки вдоль ее длины. В слоистых полупроводниковых сверхрешетках это достигается за счет пе-

риодического легирования или (опять же периодического) изменения химического состава вдоль оси роста наноструктуры, то есть перпендикулярно ее слоям. Но к нанотрубкам такой подход применить весьма проблематично из-за высокой химической устойчивости их стенок. Периодического изменения ширины запрещенной зоны нанотрубки можно добиться, внедряя в нанотрубку фуллерены [1] (рис. 1а). При этом в нанотрубке формируется одномерная сверхрешетка из квантовых точек. Однако методика изготовления “стручков” из нанотрубок и фуллеренов достаточно сложна и вряд ли может использоваться в массовом производстве.

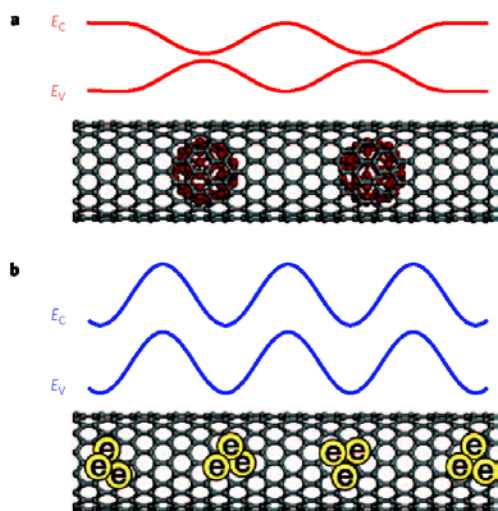


Рис.1. Периодическая модуляция краев зоны проводимости и валентной зоны в нанотрубке, заполненной фуллеренами (а) и в нанотрубке, лежащей на подложке (b).

Японские ученые из RIKEN-Токуо предложили гораздо более простой и практичный способ формирования регулярных цепочек из квантовых точек в одностенных нанотрубках. Они поместили нанотрубку на поверхность монокристаллической серебряной подложки, измерили туннельные спектры вдоль ее оси и увидели, что имеет место модуляция потолка валентной зон и дна зоны проводимости (рис. 1b). Период этой модуляции равен 6.4 нм, что соответствует условию соизмеримости решеток подложки и нанотрубки, когда центры углеродных шестиугольников в нанотрубке расположены строго над атомами серебра в подложке. Этот эффект обусловлен локальным переносом электрического заряда с подложки на нанотрубку. Расстояние между энергетическими уровнями квантовых точек составило около 0.1 эВ – гораздо больше, чем, например, в квантовых точках, электростатически сформированных в двумерном электронном газе. Изменение ориентации нанотрубки относительно подложки приводит к изменению как расстояния между квантовыми точками, так и их энергетического спектра. Здесь необходимо отметить, что использованная в [2] нанотрубка (6.2) была очень узкой (диаметр $D \approx 0.6$ нм). Увеличение D приводит к размытию потенциального рельефа сверхрешетки

из-за увеличения количества контактирующих с подложкой атомов углерода. С практической точки зрения основная проблема здесь заключается в отсутствии надежных методик изготовления нанотрубок с заданной структурой (хиральностью).

1. J.Lee et al., *Nature* **415**, 1005 (2002).

2. H.-J. Shin et al., *Nature Nanotech.* **4**, 567 (2009).

Графены способны пропускать ток до 10^8 А/см²

Рекордные величины теплопроводности и электропроводности определяют перспективы использования графенов в наноэлектронике в качестве основы материала, применяемого для отвода тепла и заряда. Недавно в Georgia Institute of Technology, Atlanta (США) было выполнено измерение предельно достижимого тока через графен [1]. Результат этого эксперимента также оказался рекордным. В качестве исходного материала использовали графены, состоящие из небольшого числа слоев (от одного до пяти). Образцы графенов представляли собой продолговатые полоски длиной от 0.2 до 1.0 мкм и шириной от 16 до 52 нм. Электрические измерения производили по четырехконтактной схеме, с тем, чтобы исключить влияние контактного сопротивления. Напряжение, прикладываемое к паре внутренних электродов, возрастало со скоростью 50 мВ/с, до тех пор, пока ток через графен не прерывался в результате пробоя. Результаты измерений, выполненных на 21 образце, показали, что плотность тока через графен, соответствующая электрическому пробую, изменяется в пределах от 1.2×10^8 до 2.8×10^8 А/см². При этом ток через графен достигает порядка 30 мкА. Оцененная величина контактного сопротивления оказалась в диапазоне от 30 до 80 Ом, что соответствует удельному сопротивлению контактов от 15 до 80 Ом мкм². Зависимость плотности тока пробоя J_B от удельного сопротивления образца ρ хорошо аппроксимируется соотношением $J_B = A\rho^{-B}$, где $A = 5.72 \times 10^8$ А/см², а $B = 0.71$ (здесь ρ – удельное сопротивление образца, мкОм·см). Полученная зависимость максимальной плотности тока от сопротивления имеет более резкий характер по сравнению с теоретической зависимостью ($B = 0.5$), имеющей место при термическом разрушении проводника при омическом нагреве. Это несоответствие указывает на роль структурных дефектов в механизме переноса электронов, присутствие которых делает зависимость предельного тока от сопротивления более резкой.

На основании уравнения теплопроводности для графена, и величины температуры его термического разрушения ($T_m = 800^\circ\text{C}$) удалось оценить коэффициент теплопроводности для графеновой полоски шириной 18 нм – $\kappa = 1100$ Вт/м К (для других образцов этот параметр оказался в диапазоне между 1000-1400 Вт/м К). Оценочные коэффициенты теплопроводности графенов в несколько раз ниже теоретической величины, вычисленной ранее для гра-

феновых полосок шириной в несколько микрон и комнатной температуры [2]. Падение коэффициента теплопроводности графенов с ростом температуры и уменьшением их размеров находится в соответствии с современными представлениями о фононном механизме переноса тепла в двумерных кристаллах.

А.Елецкий

1. *R.Murali et al., Appl. Phys. Lett.* **94**, 243114 (2009).

2. *D.L.Nika et al., Phys. Rev. B* **79**, 155413 (2009).

Получение графенов большой площади в результате термического разложения карбида кремния

Открытие возможности выделения индивидуальных графенов привлекло внимание к этому объекту десятков лабораторий во всем мире. Это связано как с необычными физико-химическими свойствами графенов (рекордная теплопроводность, возможность наблюдения квантового эффекта Холла и перехода от баллистического к диффузионному механизму переноса тепла и заряда и т.п.), так и обусловленным ими значительным потенциалом прикладного использования. Реализация этого потенциала возможна только в результате разработки относительно простых и достаточно эффективных методов получения и идентификации графенов. По этой причине на данной стадии развития исследований в области графенов усилия специалистов направлены на разработку и модификацию таких методов.

Среди множества публикаций подобного рода обращает на себя внимание работа, выполненная большой группой исследователей из университетов Германии и США [1], которым удалось существенно модифицировать разработанный ранее метод синтеза графенов на основе термического разложения карбида кремния. Согласно этому методу, исходным материалом для получения графенов служит монокристаллическая пластина SiC, ориентированная плоскостью (0001). В некоторых экспериментах использовали пластины, легированные азотом и имеющие концентрацию носителей до $2 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Графены выращивали в вертикальной водоохлаждаемой кварцевой трубке в потоке аргона, температуру которого повышали либо понижали со скоростью 2–3°C в секунду. Типичная продолжительность процесса составляла 15 мин. Максимальная температура варьировалась в диапазоне от 1500 до 2000°C, а давление газа могло составлять от 0,01 до 0,9 атм. Выполненное исследование показало, что использование буферного газа приводит к образованию графенов существенно большей площади, чем в случае вакуумного отжига при тех же температурах. Для определения химического состава графенов и их толщины использовали рентгеновскую фотоионизационную спектроскопию с угловым разрешением. Измерения показали, что даже после выдержки на воздухе в течение часа кислород

на поверхности графенов не детектируется (на уровне 1%). Однако, при более длительной выдержке на поверхности графенов сорбируется слой углеводородов и воды, который, можно удалить лишь после отжига при 600°C в вакууме. Морфология поверхности исследовали с помощью атомного силового микроскопа (АСМ). Для изучения структуры полученных пленок использовали метод, основанный на дифракции медленных электронов. Кроме того, полученные образцы пленок исследовали с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния с пространственным разрешением на уровне 2 мкм.

Исследования показали, что поверхность исходной пластины SiC, подвергнутая травлению водородом, содержит параллельные гладкие террасы шириной 300–700 нм, длиной до 50 мкм и высотой около 1,5 нм. В результате вакуумного отжига по описанной выше программе эта поверхность покрывается островками однослойных графенов поперечником около 10 нм, наряду с которыми наблюдаются также двухслойные графены. При этом сама поверхность подложки становится существенно более шероховатой. В отличие от вакуумных условий, графены, полученные в результате отжига SiC в атмосфере аргона, характеризуются поперечными размерами до сотни мкм и значительно более высокой степенью пространственной однородности.

Для измерения электрических характеристик использовали образцы графенов площадью $100 \times 100 \text{ мкм}^2$ либо $4 \times 50 \text{ мкм}^2$. Измерения проводили методом Холла по четырехзондовой схеме с применением Ti/Au контактов. Согласно измерениям, подвижность носителей в образце, полученном в атмосфере аргона, составила около $2000 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ и около $900 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ при температурах 27 К и 300 К, соответственно. Подвижность носителей в образцах, полученных в вакууме, в 2–3 раза ниже. Измеренные величины подвижности носителей в несколько раз ниже тех, которые присущи графенам, полученным в результате механического расщепления графита [2, 3]. Концентрация носителей, согласно измерениям, составила величины около 10^{13} см^{-3} , что примерно вдвое выше чем в работах [2, 3].

Полученные результаты указывают на возможность использования данного метода для получения графенов значительной площади в макроскопических количествах.

А.Елецкий

1. *K.V.Emtsev et al., Nature Materials* **8**, 203 (2009).

2. *K.S.Novoselov et al., Nature* **438**, 197 (2005).

3. *Y.B.Zhang et al., Nature* **438**, 201 (2005).

КОНФЕРЕНЦИИ



**Юбилейная Научная сессия
ОФН РАН, посвященная
90-летию академика
И.М. Халатникова,
21 октября 2009 г. (14-00)**
(ФИ им. П.Н.Лебедева РАН, Ленин-
ский просп., 53, конференц-зал)

Программа

1. Академик **Андреев А.Ф.** (ИФП им. П.Л. Капицы РАН)
Дефицит импульса в квантовых стеклах
2. **Каменщик А.Ю.** (Университет Болоньи, Италия)
Проблема сингулярности и хаос в космологии
3. **Покровский В.Л.** (ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН и А&М Университет Техаса, США)
Поверх барьеров (о рассеянии частиц высоких энергий)
4. Член-корр. РАН **Хриплович И.Б.** (Институт ядерной физики СО РАН)
Экранировка и антиэкранировка заряда в калибровочных теориях

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

ПОЗДРАВЛЯЕМ Исаака Марковича Халатникова с ЮБИЛЕЕМ! Желаем здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов!

Авторы и редакция ПерсТа

**Научная сессия ОФН РАН,
“Внегалактическая астрономия”,
28 октября 2009 г. (11-00)**

(ИФП им. П.Л. Капицы РАН, ул. Косыгина, 2, конференц-зал)

Программа

1. **Д.А. Варшалович, А.В. Иванчик, С.А. Балашев** (ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН)
Первичный нуклеосинтез и HD/H₂ в молекулярных облаках, существовавших 12 млрд лет назад
2. **Р.Л. Аптекарь, С.В. Голенецкий, Е.П. Мазец** (ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН)
Исследования космических гамма-всплесков и мягких гамма-репитеров в экспериментах ФТИ КОНУС
3. **Г.М. Бескин, С.В. Карпов** (САО РАН), **С.Ф. Бондарь** (НИИ ПП)
Открытие быстрой оптической переменности гамма-всплесков GRB080319В и перспективы астрономического мониторинга высокого временного разрешения
4. **А.А. Старобинский** (ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН)
Экспериментальное и теоретическое исследование темной энергии во Вселенной

5. **А.В. Засов, О.К. Сильченко** (ГАИШ МГУ)

Диски галактик и их эволюция

6. **В.В. Бурдюжа** (АКЦ ФИАН)

Темные компоненты во Вселенной

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

XXXIII Международная зимняя школа физиков-теоретиков “Коуровка”, 22 - 27 февраля 2010 г., Екатеринбург, Россия

Приглашаем Вас принять участие в работе юбилейной XXXIII Международной зимней школы физиков-теоретиков “50 лет Коуровке и 100 лет со дня рождения академика С.В. Вонсовского”.

Программа школы

- актуальные вопросы теории конденсированного состояния - (ТКС);
- теория сильно коррелированных систем - (СКС);
- высокотемпературная сверхпроводимость - (ВС).

Важные даты:

срок подачи заявок – **20 декабря 2009 года.**

срок подачи тезисов - **1 января 2010 года**

Web: <http://www.imp.uran.ru>

Fourth Seeheim Conference on Magnetism (SCM2010), March 28 to April 1, 2010, Frankfurt, Germany

The fourth Seeheim Conference on Magnetism (SCM2010) will focus on the latest developments in the magnetism of nanostructures, interfaces and interface dominated materials, multilayers and nanoparticles and the correlation with structural parameters. The most recent results will be presented in the form of plenary lectures, invited and contributed talks as well as posters, leaving sufficient times to discussions and social meetings. In particular, the following magnetic materials and structures will be considered:

- a) hard and soft magnetic materials
- b) magnetic memories- MRAM, TMR, GMR,..
- c) domain walls, modeling, hysteresis
- d) spin dependent transport properties
- e) thin films and particles
- f) magnetic interactions
- g) magnetization processes
- h) molecular magnets
- i) applications

January 15th, 2010 - Deadline for receipt of abstracts

January 31st, 2010 - Acceptance of abstracts

February 1st, 2010 - Final Program and deadline for online -registration

Web: www.tu-darmstadt.de/magnetism

IV Евро-азиатский симпозиум по проблемам магнетизма: наноспинтроника (EASTMAG – 2010), 28 июня – 2 июля 2010 г., Екатеринбург, Россия

Программа:

- Спин-поляризованный транспорт
- Магнитотранспорт и магнитооптика
- Магнитные наноструктуры и пленки, низкоразмерный магнетизм
- Спиновые волны, спин-волновой резонанс
- Спин-переориентационные фазовые переходы
- Магнетизм сильнокоррелированных систем
- Магнетизм и наноматериалы
- Спиновая динамика
- Динамика доменных структур и доменных стенок
- Спин-орбитальные взаимодействия, магнитная анизотропия и магнитострикция
- В рамках симпозиума будет проходить школа молодых ученых «Спинтроника».

Важные даты:

31 января 2010 г. – окончание регистрации и принятия тезисов

15 марта 2010 г. – рассылка второго сообщения.

Web: <http://www.imp.uran.ru/ru/meropr/confer/>

16 октября 2009 г. состоится торжественное заседание Ученого совета ИФТТ РАН посвященное 60-летию члена-корреспондента РАН В.В. Кведера

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

***ПОЗДРАВЛЯЕМ Юбилера!** Желаем дальнейших творческих успехов, новых свершений и открытий!*

Авторы и редакция ПерсТа

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

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

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие: О.Алексеева, А.Елецкий, М.Маслов, Л.Опенев, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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