

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Сосуществование сверхпроводимости и антиферромагнетизма в $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$

При понижении температуры в ВТСП на основе железа происходит не только сверхпроводящий переход, но также магнитный и (почти одновременно с ним) структурный (рис. 1).

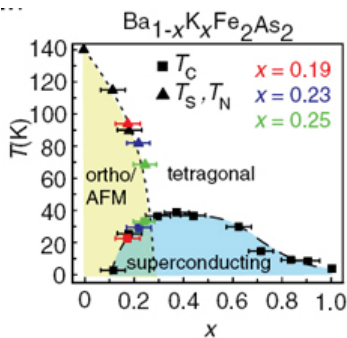


Рис. 1. Фазовая диаграмма $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$ в координатах “температура – концентрация носителей”. T_c , T_s и T_N – температуры сверхпроводящего, структурного и антиферромагнитного переходов, соответственно.

Эксперимент свидетельствует о том, что в системах с электронным допированием, таких как $Ba(Fe_{1-x}Co_x)_2As_2$, сверхпроводимость и антиферромагнетизм при $T < T_c < T_N$ сосуществуют на микроскопическом уровне, тогда как

для ВТСП $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$ с дырочным допированием данные очень противоречивы, и нельзя исключить обычного фазового расслоения на сверхпроводящие и антиферромагнитные области. В работе [1] швейцарских и немецких физиков представлены результаты комплексных исследований $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$ методами неупругого рассеяния нейтронов, мессбауэровской и мюонной спектроскопии. Установлено, что в недодопированных сверхпроводящих образцах с $x = 0.19, 0.23$ и 0.25 ($T_c = 22.7$ К, 28.5 К и 32.6 К; $T_N = 97$ К, 83 К и 68 К, соответственно) и сверхпроводящая, и магнитная фазы занимают 100 % объема, то есть они именно сосуществуют, и фазовое расслоение отсутствует. Более того, при понижении температуры ниже T_N параметр магнитного порядка (локальный магнитный момент атомов Fe) сначала возрастает, а при $T = T_c$ уменьшается (вставка на рис. 2).

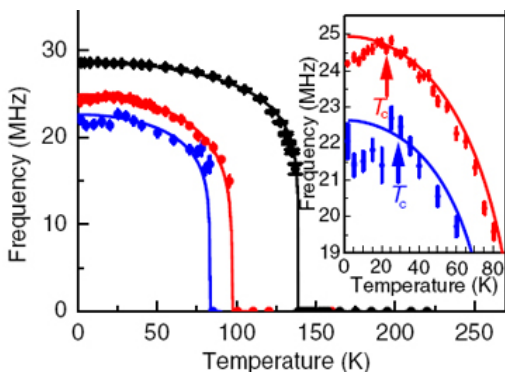


Рис. 2. Температурные зависимости μSR -частоты (магнитного параметра порядка) в $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$ с $x = 0, 0.19, 0.23$ (сверху вниз). На вставке – данные для $x = 0.23$ (верхняя кривая) и $x = 0.25$ (нижняя кривая).

Это говорит о тесной взаимосвязи магнетизма со сверхпроводимостью и о вероятной причастности магнитных возбуждений к спариванию носителей.

Л.Опенев

I. E. Wiesenmayer et al., Phys. Rev. Lett. 107, 237001 (2011).

И далее ...

- 2 Спаривание и псевдощель в двумерном атомном ферми-газе

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 2 Квантовая запутанность в макроскопических системах

ГРАФЕН

- 2 Трехслойный графен
- 3 Обычные свойства необычных графенов
- 4 Получение графеновых пленок желаемой толщины
- 5 Сочетание нанотрубок с графеном дает новые возможности

НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 5 Углеродные наноматериалы для флуоресцентной микроскопии

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

- 7 Квантовая критическая точка и спиновый кроссовер в магнезиовюстите

СНОВА К ОСНОВАМ

- 8 Открытия на кончике пера

КОНФЕРЕНЦИИ

- 9 20th International Symposium “Nanostructures: Physics and Technology”, 24-30 June 2012, Nizhny Novgorod, Russia

Спаривание и псевдощель в двумерном атомном ферми-газе

Спаривание фермионов имеет место в самых различных физических системах, включая сверхпроводники, сверхтекучий гелий и даже ... нейтронные звезды. Особый интерес представляет кроссовер от бозе-конденсации локальных пар к режиму БКШ, который происходит по мере увеличения плотности исходных фермионов. В переходной области ожидается появление новых эффектов [1] (среди них, например, формирование псевдощели), которые должны наиболее отчетливо проявляться в двумерии, где сильны флуктуации фазы параметра сверхпроводящего порядка. С экспериментальной точки зрения здесь неоценимую услугу могут оказать ультрахолодные атомные газы в оптических ловушках, параметры (а главное – плотность) которых можно регулировать в достаточно широких пределах. В работе [2] английские физики использовали фотоэмиссионную спектроскопию с разрешением по импульсам (аналог ARPES) для исследования эволюции сверхтекучего перехода в двумерном газе фермиевских атомов ^{40}K . Был изучен режим, когда размер пар сравним со средним расстоянием между частицами. Анализ спектров рассеяния фотонов показал, что выше температуры сверхтекучего перехода (в двумерии – температуры перехода Березинского-Костерлица-Таулеса) спаривающее взаимодействие приводит к появлению псевдощели. Полученные результаты хорошо согласуются с теорией [1]. Авторы [2] проводят аналогию со слоистыми купратными ВТСП, в которых псевдощель наблюдается выше температуры сверхпроводящего перехода и в которых ее природа все еще остается предметом оживленных дискуссий. В атомарных ферми-системах ситуация представляется более определенной, и авторы в дальнейшем планируют провести эксперименты по переводу атомного ферми-газа в d -волновое сверхпроводящее состояние, которое как раз и наблюдается в ВТСП и для которого образование псевдощели той же симметрии также не исключено.

Л. Опенов

1. V.M.Loktev et al., *Phys. Rep.* **349**, 1 (2001).

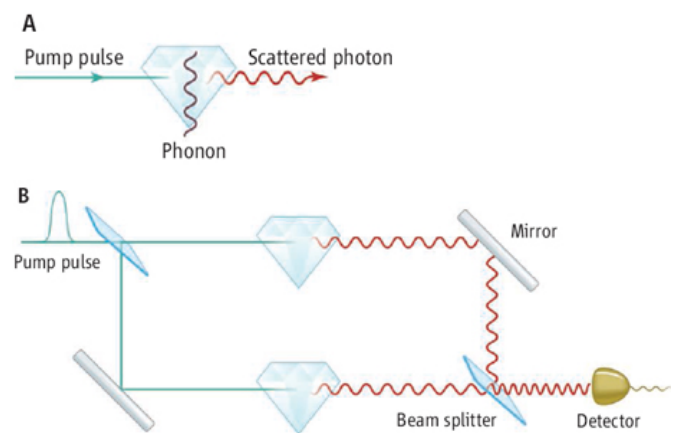
2. M.Feld et al., *Nature* **480**, 75 (2011).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Квантовая запутанность в макроскопических системах

Запутанность квантовых состояний приводит к специфическим корреляциям между результатами последовательных измерений характеристик составных частей запутанной системы. Для экспериментального исследования запутанности обычно используют квантовые объекты, имеющие небольшое число степеней свободы и достаточно хорошо изолированные от своего окружения (ядерные или электронные спины, фотоны и пр.). А можно ли

создать запутанное состояние макроскопических тел, состоящих из огромного количества атомов, которые сильно взаимодействуют между собой и с внешней средой? Оказывается, можно, хотя и на очень короткое время. В работе [1] (Великобритания, Канада, Сингапур) продемонстрирована запутанность оптических фононов в двух кристаллах алмаза с размерами 3 мм, отстоящих друг от друга на 15 см (каждый такой фонон представляет собой коллективное возбуждение $\sim 10^{16}$ атомов). Авторы [1] использовали так называемую DLCZ-схему, предложенную ранее для квантовой связи между удаленными пунктами: воздействуя на оба кристалла ультракороткими лазерными импульсами и заставляя рассеянные фотоны интерферировать (см. рис.), они в итоге получали запутанное состояние $|1_L 0_R\rangle + \exp(-i\phi)|0_L 1_R\rangle$, представляющее собой когерентную суперпозицию состояний “фонон в левом (L) кристалле” и “фонон в правом (R) кристалле”. Запутанность была подтверждена путем “девозбуждения” фонона вторым лазерным импульсом. Поскольку эксперимент проводили при высокой (комнатной) температуре, время жизни запутанного состояния (фактически – время декогерентизации) составило всего лишь ~ 10 пс. И, тем не менее, исследования подобного рода чрезвычайно важны для изучения границы, отделяющей квантовый мир от классического.



А - При взаимодействии лазерного импульса с кристаллом формируется коррелированная пара фонон + рассеянный (стоксовский) фотон.

В - Интерференция фотонов, рассеянных на разных кристаллах, и регистрация результирующего фотона.

1. K.C.Lee et al., *Science* **324**, 1253 (2011).

ГРАФЕН

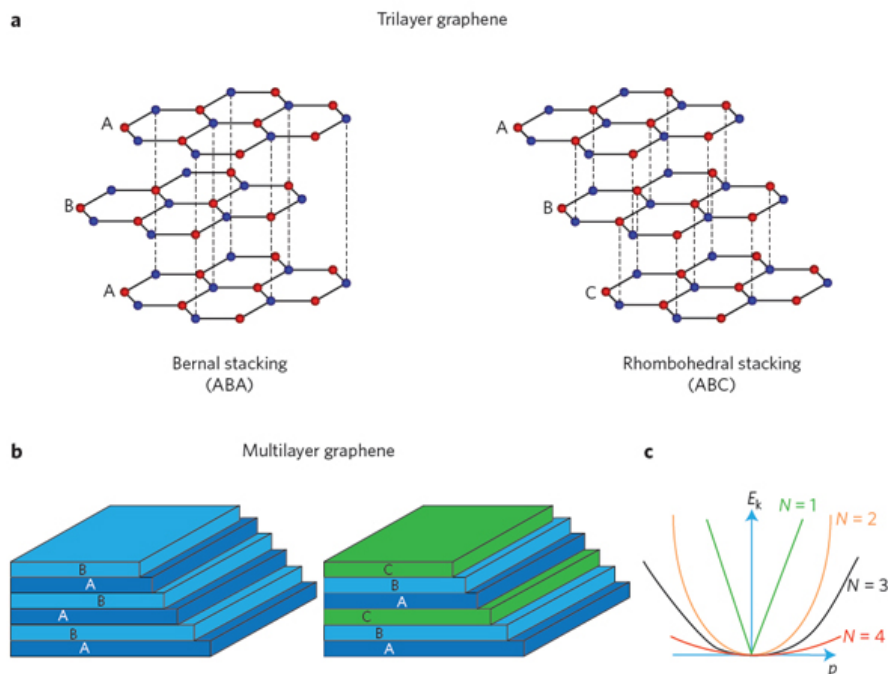
Трехслойный графен

Монослой графена имеет гексагональную решетку с двумя атомами углерода в элементарной ячейке (“ a ” и “ b ”). В такой решетке кинетическая энергия электрона линейно зависит от его импульса, $E_k \sim p$, а запрещенная зона отсутствует (графен – бесщелевой полупроводник). В двухслойном графене атомы “ a ” одного слоя расположены непосредственно над атомами “ b ” другого слоя (АВ упаковка). При этом

ПерсТ, 2010, том 18, выпуск 24

$E_k \sim p^2$, а щель в спектре можно индуцировать перпендикулярным электрическим полем. Что касается трехслойного графена с АВА упаковкой, то предыдущие исследования показали, что в его электронной структуре имеются две перекрывающиеся зоны с линейным и квадратичным по p законами дисперсии, причем щель отсутствует даже в электриче-

ском поле. В декабрьском номере журнала Nature Physics за 2011 г. опубликованы сразу три статьи, посвященные трехслойному графену, но на этот раз с другим взаимным расположением слоев (так называемая АВС упаковка, изображенная на рис. 1а справа).



Различные типы упаковки слоев в трехслойном (a) и многослойном (b) графене. В N-слойном графене с ABCABC... упаковкой кинетическая энергия электронов $E_k \sim p^N$ (c).

Оказалось, что в нем, как и в двухслойном графене, электрическое поле индуцирует щель $E_g \sim 100$ мэВ. Это делает возможным его практическое использование (например, в детекторах инфракрасного излучения). В магнитном поле число вырожденных уровней Ландау с нулевой энергией равно 12 (в моно- и двухслойном графене – 4 и 8, соответственно).

Вследствие межэлектронного кулоновского взаимодействия такое сильное вырождение способствует спонтанному нарушению симметрии, когда электроны полностью заполняют лишь некоторые из уровней, оставляя другие абсолютно пустыми (а не распределяются поровну между всеми доступными уровнями). Закон дисперсии в трехслойном графене имеет вид $E_k \sim p^3$, то есть при малой концентрации носителей их эффективная масса становится очень большой (и расходится при $p \rightarrow 0$). Увеличивая число слоев с упаковкой ABCABC... (рис. 1b), можно еще сильнее понизить кинетическую энергию электронов (рис. 1c), что приведет к увеличению роли кулоновского взаимодействия и, возможно, к новым интересным эффектам, отсутствующим в графите – “естественном” многослойном графене с АВАВ... упаковкой слоев.

По материалам заметки A. Yacoby, “Tri and tri again”, Nature Phys. 7, 925 (2011).

1. C.H.Lui et al., Nature Phys. 7, 944 (2011).
2. W.Bao et al., Nature Phys. 7, 948 (2011).
3. L.Zhang et al., Nature Phys. 7, 953 (2011).

Обычные свойства необычных графанов

Небольшая публикация в одном из предновогодних номеров журнала Американского химического общества посвящена ставшему уже таким постоянным гостем на страницах научных изданий гидриду графена или попросту графану [1]. На этот раз под пристальным вниманием авторов оказались электронные характеристики целого семейства основанных на нем материалов (рис. 1): фрагменты обычного графана, сложные комплексы, состоящие из двух графановых слоев, связанных слабым ван-дер-ваальсовым взаимодействием (димер графана), а также особые двухслойные формы – диамантоиды.

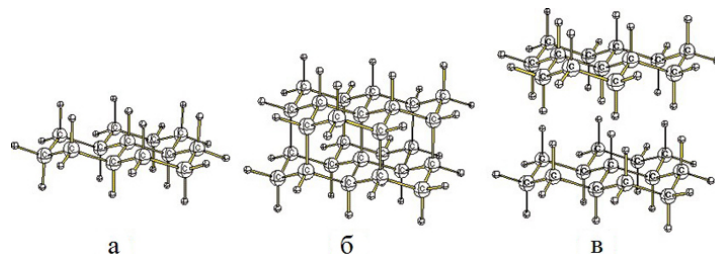


Рис. 1. Фрагменты соединений ряда графанов: однослойный графан (а), диамантоид (б), двухслойный графан (в)

В данном случае диамантоиды представляют собой органические соединения, состоящие из двух ковалентно связанных друг с другом фрагментов графана (листов графена, гидрированных лишь с одной

стороны). Таким образом, углеродный скелет диамантоидов полностью идентичен расположению углеродных атомов в кристаллической решетке алмаза. Все расчеты выполнены исследователями в рамках теории функционала плотности с учетом межмолекулярного взаимодействия (dispersion-corrected DFT).

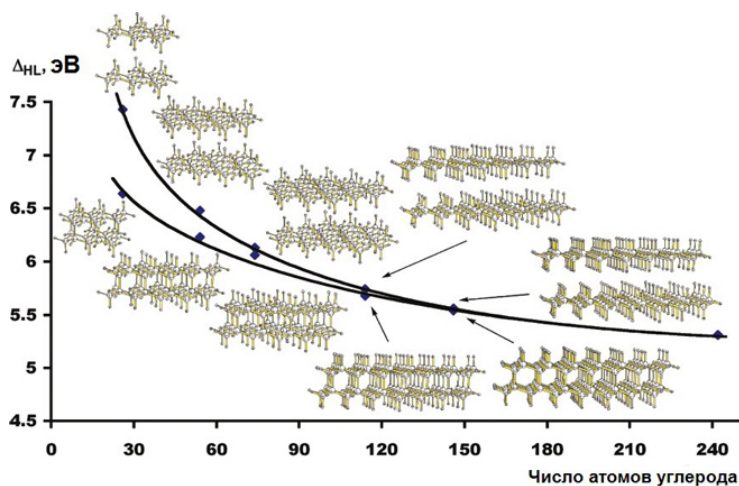


Рис. 2. Зависимость величины НОМО-LUMO щели (Δ_{HL}) от числа атомов углерода в системе для двухслойных графенов и диамантоидов

Авторы отмечают, что энергетическая щель между наивысшими заполненными и наинизшими незаполненными молекулярными орбиталями (НОМО-LUMO щель, Δ_{HL}) для фрагментов обыкновенного однослойного графена монотонно уменьшается с увеличением его размера и асимптотически стремится к ширине запрещенной зоны в алмазе (5.5 эВ) при достижении количества атомов углерода в образце равного девяноста семи (характерная длина образца при этом ~ 2 нм). Интересная ситуация возникает при сравнении поведения Δ_{HL} для графеновых димеров и диамантоидов (рис. 2). Так, если для небольших фрагментов разница в величине Δ_{HL} ощутима, то при достижении определенного числа атомов в системе различия в Δ_{HL} между двухслойными графенами и диамантоидами стираются. Будем надеяться, вслед за авторами, что отмеченные в работе особенности электронных свойств систем на основе графена и его производных окажутся полезными при непосредственном их использовании в уже недалеком будущем.

М. Маслов

I. A.A.Fokin et al., *J. Am. Chem. Soc.* **133**, 20036 (2011).

Получение графеновых пленок желаемой толщины

Для использования графена в нанoeлектронике необходимы образцы графена с заранее заданными характеристиками. Трудности решения этой задачи связаны как с миниатюрными размерами графеновых листов, так и с необходимостью поддержания однородных условий по всей поверхности синтези-

руемого образца. Недавно в одной из лабораторий Osaka Univ. (Япония), был разработан новый подход к решению указанной проблемы, основанный на использовании в качестве подложки листа графена [1]. Этот лист был получен микромеханическим расщеплением кристаллического графита и нанесен на подложку SiO_2 толщиной 300 нм.

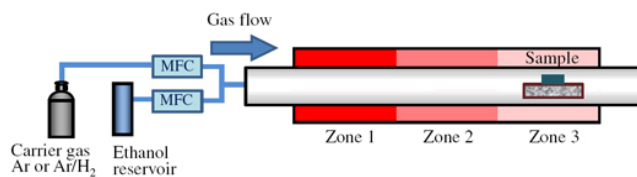


Рис. 1. Схематическое изображение установки для CVD синтеза графеновых пленок

Синтез графеновых пленок проводили методом химического газофазного осаждения (CVD) с использованием установки, показанной на рис. 1. Основу установки составляла трехзонная печь. Образец графена, используемый в качестве подложки, помещали в зону 3 и нагревали в потоке горячего воздуха до температур 600-650°C. Затем печь вакуумировали, и в дальнейшем температуру каждой из зон регулировали независимым образом. Графеновые пленки получали пропусканием через печь газа (Ar или смесь Ar/H_2) с примесью этанола, который служил источником углерода. Термическое разложение этанола происходило в зонах 1 и 2 при температуре около 900°C, а синтез графена проводили в зоне 3 при температурах 720-744°C. При этом скорость пропускания Ar и этанола составляла 30 и 5–10 cm^3/min , соответственно. Полученные образцы графена с поперечными размерами до 10 μm исследовали методами оптической микроскопии, атомной силовой микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния. Результаты исследований приведены на рис. 2.

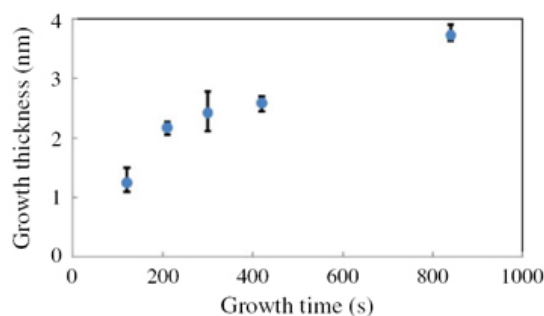


Рис. 2. Зависимость толщины графеновой пленки от длительности CVD синтеза

Как видно, число слоев в графеновой пленке пропорционально длительности синтеза. Измерения, выполненные с помощью атомного силового микроскопа, указывают на высокую степень однородности поверхности полученных пленок – уровень шероховатости поверхности составляет 0.15–0.2 нм, что не превышает расстояния между слоями в графите (0.34 нм). В работе показано, что важнейшим параметром, определяющим возможность синтеза

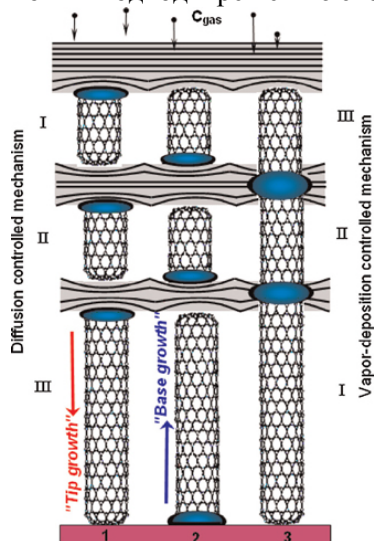
графеновых пленок с заданным числом слоев, является температура синтеза. Использованный авторами подход к стабилизации температуры синтеза, основанный на трехзонной конструкции камеры синтеза, обеспечивает достаточно низкую скорость синтеза графеновых пленок, что позволяет разделить во времени синтез каждого из слоев.

А.Елецкий

I. R. Negishi et al., Jpn. J. Appl. Phys. 50, 06GE04 (2011).

Сочетание нанотрубок с графеном дает новые возможности

Открытие графена стимулирует интерес исследователей к созданию материала с повышенными сорбционными свойствами для использования как в качестве электрода в электрохимических устройствах, так и в качестве емкости для хранения газов. Ранее обсуждались различные трехмерные структуры, в которых слои графена соединены друг с другом углеродными нанотрубками (УНТ), образуя тем самым весьма разреженную сеть с высоким соотношением свободного объема к объему, заполненному каркасом. Основная проблема, стоящая на пути реализации подобной системы, связана с трудностями ее изготовления. Недавно группа исследователей [1] из Минского университета информатики и радиоэлектроники (Беларусь) и Московского института электронной техники (Россия) предложила новый подход к решению этой проблемы (см. рис.).



Авторы проводили синтез гибридной структуры графен-УНТ методом инжекционного химического осаждения паров (CVD) в цилиндрическом реакторе из кварца при атмосферном давлении. Аргон с примесью орто-ксилола (C_8H_{10}) и ферроцена ($Fe(C_5H_5)_2$) прокачивали через реактор со скоростью 100

мл/мин, (содержание ферроцена в смеси составляло 1 масс. %). В качестве подложек использовали пластины из легированного кремния (n-тип) размером 5×5 мм². Полученные структуры исследовали методами атомной силовой микроскопии, просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии, а также оже-спектроскопии.

Исследование полученных образцов показывает, что в результате синтеза образуются двухслойные либо трехслойные структуры, в которых горизонтальные графеновые слои соединены вертикально ориентированными массивами УНТ диаметром от

60 до 90 нм и высотой от 5 до 12 мкм. Как правило, нанотрубки отрастают вверх или вниз от графенового слоя, хотя отдельные нанотрубки прошивают слой насквозь.

Механизм роста гибридных углеродных наноструктур показан на рисунке. В основе этого механизма лежит многоступенчатый процесс, на первой стадии которого происходит термическое разложение ферроцена, сопровождаемое осаждением частиц железа на кремниевой подложке. Эти частицы являются катализатором процесса синтеза трехмерных гибридных структур графен-УНТ. На второй стадии атомы углерода, образующиеся на поверхности частиц катализатора в результате термического разложения ксилола, растворяются в железе, что приводит к образованию метастабильной фазы карбида железа. На третьей стадии происходит разложение карбида железа, которое сопровождается ростом УНТ. Скорость роста гибридных структур определяется, с одной стороны, скоростью подачи углеводородов в камеру синтеза, а с другой стороны – температурой синтеза, которая, в свою очередь, определяет интенсивность разложения углеводородов на поверхности частицы катализатора и скорость диффузии растворенных атомов углерода на эту поверхность. На рисунке отражены два возможных сценария роста гибридной структуры. Первый сценарий основан на диффузионно-контролируемом механизме роста УНТ (показано слева). При этом рост слоя III на поверхности подложки является следствием диффузии атомов Fe и C через ранее синтезированные слои I и II, обладающие пористой структурой. Однако более правдоподобным представляется второй сценарий, который можно связать с CVD-контролируемым механизмом роста. Выращивание трехмерных углеродных структур, содержащих элементы графена и УНТ, может оказаться одним из направлений реализации многообразных технологических возможностей, заложенных в этих уникальных материалах.

А.Елецкий

I. V. Labunov et al., Phys. status solidi (a) 208, 453 (2011).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Углеродные наноматериалы для флуоресцентной микроскопии



Получение биоизображений *in vivo*, то есть визуальное отображение биологических процессов в живом организме в реальном времени, очень важно и для биомедицинских исследований, и для клинической практики. Один из наиболее распространенных методов – флуоресцентная микроскопия. В последние годы возможности этого метода существенно расширились благодаря развитию цифровой

фототехники и оптики наночастиц. В качестве флуорофоров стали успешно применять наночастицы, легированные ионами редкоземельных металлов [1], полупроводниковые квантовые точки. Но углеродные наноматериалы тоже не сдают своих позиций. Ученые из Индии [2] добавили в пищу дрозофилам *Drosophila melanogaster** углеродные нанолуковицы и с помощью оптической флуоресцентной микроскопии проследили весь жизненный цикл этих плодовых мушек.

Углеродные нанолуковицы (УНЛ) были получены пиролизом древесных отходов. Благодаря образованию большого количества дефектов поверхности, последующая обработка в концентрированной азотной кислоте привела к сильному карбоксилированию поверхности и улучшению “растворимости” УНЛ в воде. Дополнительного покрытия и/или дополнительной функционализации, как, например, в случае использования флуоресцентных полупроводниковых квантовых точек [3], не потребовалось.

ТЕМ и HRTEM-изображения углеродных нанолуковиц представлены на рис.1. На рис.2 приведена гистограмма распределения растворимых в воде нанолуковиц по размерам.

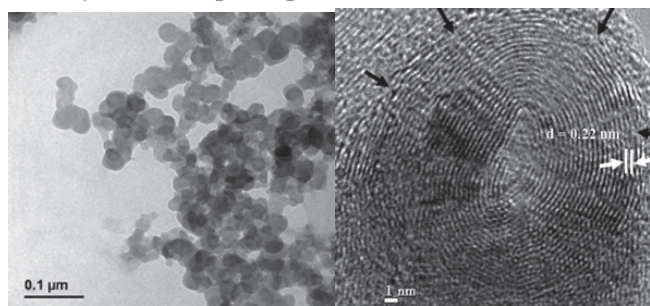


Рис. 1. ТЕМ и HRTEM-изображения углеродных нанолуковиц. Черные стрелки на HRTEM-изображении указывают на дефекты поверхности.

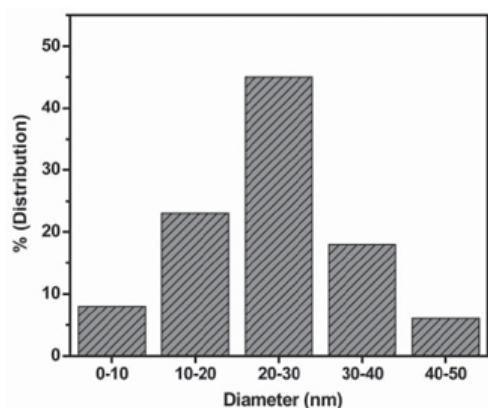


Рис. 2. Распределение УНЛ по размерам.

Уникальная особенность синтезированных нанолуковиц – флуоресценция во всем видимом диапазоне и ближней ИК-области спектра (рис. 3, 4). Авторы объясняют это тем, что наличие большого количества карбоксильных групп (по оценкам до 20 вес.%) приводит к спонтанной пассивации поверхности УНЛ и возникновению эффекта квантового ограничения. В соответствии с этим эффектом спектры

поглощения и излучения зависят от размера наночастицы. Из-за разброса в размерах нанолуковиц (см. рис. 2) и наблюдается флуоресценция в широком диапазоне длин волн. В принципе, это дает возможность “настраивать” флуоресценцию и получать яркие цветные биоизображения.

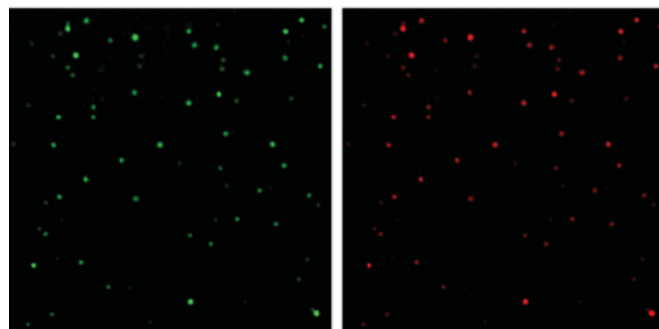


Рис. 3. Флуоресценция УНЛ после выпаривания из раствора (использованы два разных фильтра).

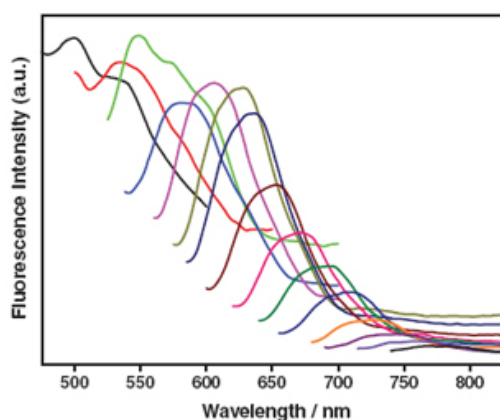


Рис. 4. Флуоресценция углеродных нанолуковиц. Длина волны возбуждающего света последовательно увеличивается с шагом 20 нм, начиная с 380 нм.

Правда, как видно из рис. 3, флуоресценция синтезированных углеродных нанолуковиц довольно слабая. Однако внутри дрозофил она усиливается настолько, что ее можно изучать при помощи оптического флуоресцентного микроскопа (!). Авторы [2] считают, что карбоксильные группы взаимодействуют с биомолекулами, находящимися в организме дрозофил, и это увеличивает пассивацию поверхности (детали сейчас изучаются) и эффект квантового ограничения.

Для изучения жизненного цикла плодовых мушек исследователи приготовили сахарную питательную смесь и приправили ее нанолуковицами (2 ppm). Этой смесью несколько пар дрозофил кормили 3 дня (до откладки яиц). Затем мух перенесли в другое место и изучили полный 12-дневный цикл развития *яйцо-личинка-куколка-новая муха* (питание – та же сладкая смесь с нанолуковицами). На рис. 5 представлены характерные изображения всех этапов жизненного цикла *Drosophila melanogaster*, полученные при использовании различных фильтров. Предложенный метод позволяет изучать стадии развития личинки и даже детали ее внутренних органов (рис. 6).

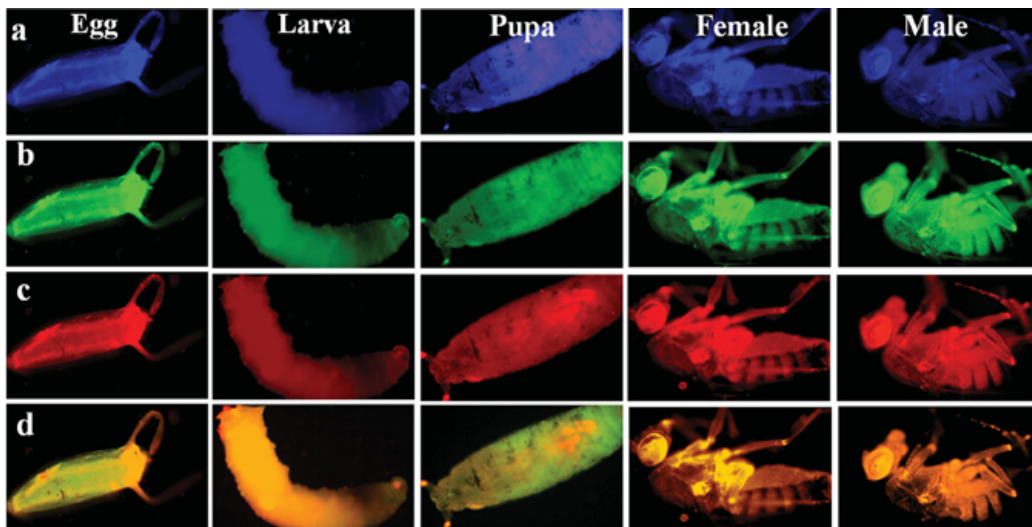


Рис. 5. Стадии развития *Drosophila melanogaster*: яйцо-личинка-куколка-муха (самка и самец).

a, b, c - использованы три разных фильтра; d - использованы совместно b и c фильтры.

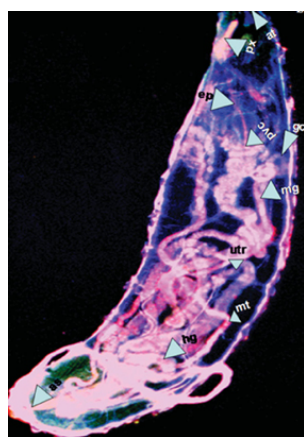


Рис. 6. Одна из стадий развития личинки. Стрелки указывают на различные внутренние органы.

Детальные токсикологические исследования, проведенные авторами [2], показали, что флуоресцентная пища (2-4 ppm УНЛ) не причиняет дрозофилам никакого вреда.

После того, как мух возвращают к обычному питанию, углеродные нанолуковицы постепенно выводятся из организма с экскрементами; мухи, как обычно, откладывают яйца в положенное время. Из этих яиц, а также из личинок, которых кормили сладкой пищей с нанолуковицами, развиваются нормальные взрослые дрозофилы.

Ученые считают, что предложенный ими простой, но эффективный метод получения биоизображений может быть использован и для других животных, а в дальнейшем поможет диагностике и лечению людей.

* *Drosophila melanogaster* (чернобрюхая дрозофила) - плодовая мушка, очень важная для науки. Широко используется для генетических исследований (генетика развития, моделирование человеческих заболеваний, включая болезни Паркинсона и Альцгеймера), для изучения механизмов, лежащих в основе иммунитета, диабета, рака и наркотической зависимости и др. Преимущества дрозофилы – короткий цикл развития, высокая плодовитость, большое число изученных генов, и, конечно, простота и дешевизна разведения.

О.Алексеева

1. ПерсТ 18, вып. 22, с. 3 (2011).
2. M.Ghosh et al., Small 7, 3169 (2011).
3. J.Park et al., Small 7, 3148 (2011).

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Квантовая критическая точка и спиновый кроссовер в магнезиовюстите

Магнезиовюстит $Mg_{1-x}Fe_xO$, $x = 0.20-0.25$, является вторым по объему минералом в нижней мантии Земли на глубинах 1000-3000 км, поэтому исследованию его поведения при высоких давлениях в лабораторных условиях уделяется немало внимания. Измерения мессбауэровских спектров при комнатной температуре в камерах высокого давления с алмазными наковальнями обнаружили спиновый кроссовер ионов Fe^{2+} из высокоспинового HS ($S = 2$) в низкоспиновое LS ($S = 0$) состояние при давлении $P \sim 60$ ГПа. Разные условия эксперимента (степень негидростатичности) привели к противоречивым результатам относительно ширины перехода: плавность кроссовера с размытием в интервале 40 ГПа обнаружена в работе [1], гораздо более узкий интервал (порядка 10 ГПа) обнаружен в работе [2]. Поскольку согласно существующим теоретическим представлениям спиновый кроссовер не является термодинамическим фазовым переходом, но при $T = 0$ является квантовым фазовым переходом, недавно группа российских и американских физиков провела исследование эффекта Мессбауэра в магнезиовюстите при высоких давлениях и низких температурах [3]. Для этого была специально изготовлена камера высокого давления из немагнитных материалов, и эксперименты были выполнены в центре синхротронного излучения Argonne Natl. Lab. (США). Результаты измерений методом синхротронной мессбауэровской спектроскопии (СМС) приведены на рис. 1.

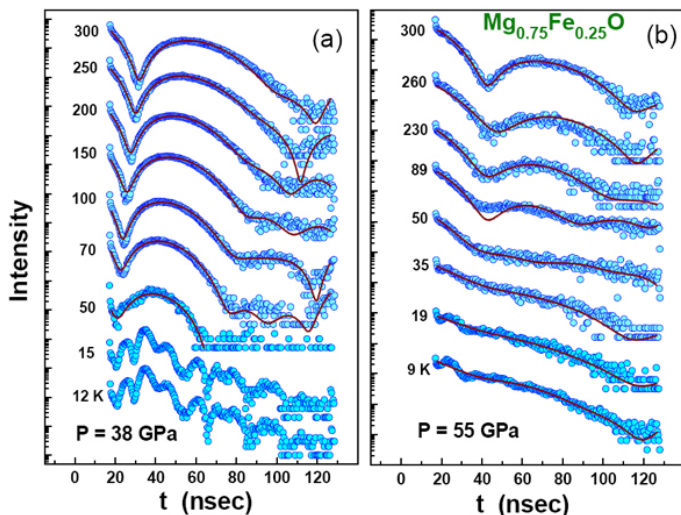


Рис. 1. Синхротронные мессбауэровские спектры магнетита при давлениях 38 ГПа (слева) и 55 ГПа (справа) в диапазоне температур от 8 К до 300 К.

Левый рисунок относится к HS состоянию, в котором есть антиферромагнитное упорядочение при низких температурах (высоочастотные биения при 12 и 15 К). Смена типа биений при 50 К и выше свидетельствует о переходе в парамагнитную фазу. Правый рисунок относится к давлению вблизи критического. При высоких температурах также видно парамагнитное поведение, однако полное выполаживание кривых при низких температурах соответствует синглетному LS состоянию. В результате серии измерений построена следующая фазовая диаграмма (рис. 2).

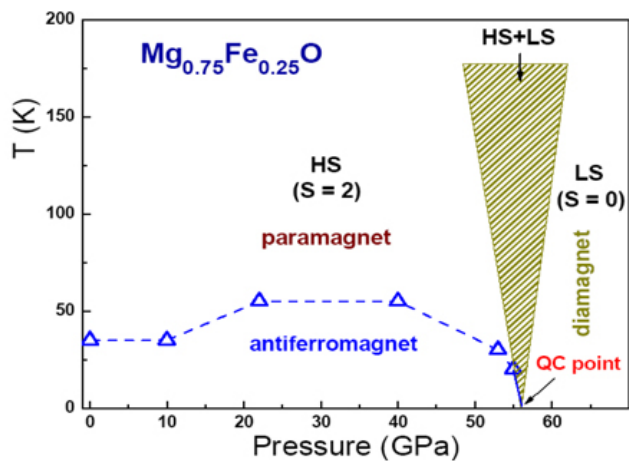


Рис. 2. Фазовая диаграмма магнетита при высоких давлениях и низких температурах. Треугольниками показаны точки Нееля при разных давлениях. Заштрихованная область соответствует сильным термодинамическим флуктуациям.

Резкое сужение области термодинамических флуктуаций, отмеченное в работе [3], является первым экспериментальным указанием на то, что спиновый кроссовер действительно является квантовой критической точкой.

С.Овчинников

1. J.Badro et al., Science 300, 789 (2003).

2. А.Г.Гаврилюк и др., Письма в ЖЭТФ. 94, 190 (2006).

3. I.S.Lyubutin et al., arXiv 1110.3956 (2011).

СНОВА К ОСНОВАМ

Открытия на кончике пера

Приближающиеся праздники дают пищу эпистолярному творчеству: в век электронной почты многие по старинке берутся за перо, чтобы черкнуть пару-тройку строк на новогодней открытке. Однако мало кто при этом задумывается о физике процесса. Если все же это сделать, то нас ждут “открытия на кончике пера” не в теоретическом, а в самом что ни на есть экспериментальном смысле.

История ручек, берущая свое начало от тростниковых палочек насчитывает более пяти тысяч лет: первые папирусы датируются тремя тысячами лет до нашей эры. Несмотря на значительную эволюцию орудий письма (рис. 1а), основная идея оставалась одной и той же: чернила, находящиеся в капилляре, при соприкосновении пера с бумагой остаются на последней.



Рис. 1. Эволюция ручки: тростниковый стержень для письма на папирусе (Египет), кисть для письма на бумаге (Китай), гушиное перо, ручка с металлическим пером, шариковая ручка (а); б - перьевая ручка с шарообразным утолщением на конце

В качестве физической модели процесса авторы статьи [1] рассмотрели переход раствора глицерина из трубки диаметром в четверть миллиметра на кремниевую пластину, пронизанную микроскопическими капиллярами. Был изучен процесс распро-

странения пятна от неподвижной трубки (возникновение кляксы), а также образование следа за движущейся трубкой (росчерк пера).

В первом случае радиус пятна увеличивается прямо пропорционально корню из времени, что соответствует хорошо известному процессу диффузии, при этом коэффициент диффузии оказался пропорционален глубине пор, а также относительной шероховатости поверхности, т.е. разнице между площадью поверхности бумаги и ее проекцией, деленной на площадь поверхности.

Ширина следа, оставляемого движущимся пером, обратно пропорциональна параметру капиллярности, т.е. отношению динамической вязкости, помноженной на скорость к коэффициенту поверхностного натяжения. Говоря проще: чем больше скорость ручки и вязкость чернил, тем тоньше линия. Интересно, что в ручках с шарообразным кончиком (в том числе и перьевых, рис. 1б) ширина следа определяется уже другим параметром - радиусом шарика.

А. Пятаков

J.Kim et al., Phys. Rev. Lett. 107, 264501 (2011).

КОНФЕРЕНЦИИ

20th International Symposium "Nanostructures: Physics and Technology", 24-30 June 2012, Nizhny Novgorod, Russia

The 20th Symposium focuses on the newest achievements in physics, technology and applications of solid state and life nanostructures, and it aims at bringing together various scientific groups actively working in these very important directions. The Symposium scientific program will cover a wide spectrum of physical phenomena, both basic and applied, as well as the technological aspects related to nanostructures.

Topics:

- Technology of Nanostructures: Growth, Self-Organization and Nanopatterning
- Atomic-Scale Characterization of Nanostructures

- Electric, Magnetic and Optical Properties of Nanostructures (including Spin-Related Phenomena, Many Particle Effects, Infrared and THz Phenomena)
- Nanostructure Device Applications in Electronics, Spintronics and Computing
- Nanophotonics, Microcavity and Photonic Crystals: Properties, Characterization and Applications
- Emerging Materials in Nanostructures (including Semiconductors, Oxides, Metals, Ferromagnetics, Carbon-based, Polymer and Biomaterials)
- Nanostructures and Life Sciences
- Metamaterials

The abstract submission deadline - **13th of February 2012.**

Website: <http://www.ioffe.ru/NANO2012/>

Дорогие наши Читатели!

*В этот сказочный день,
В этот праздничный час
Пожелания счастья
Примите от нас!
Пусть богатым и
радостным
Будет ваш дом,
Пусть добро и удача
Поселятся в нем!
Пусть исполнит мечты
Наступающий год,
Улыбнется успех,
И во всем повезет!*



Редакция и авторы ПерсТа

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

Главный 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, С.Овчинников, Л.Опенев, А.Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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