

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Нарушение электрон-дырочной симметрии в псевдощелевом состоянии Bi-2201

Наблюдение экспоненциальной температурной зависимости теплоемкости ванадия при $T \ll T_c$ дало в свое время (1954 г.) ключ к пониманию эффекта сверхпроводимости: стало понятно, что у сверхпроводников имеется щель в плотности электронных состояний. Вскоре было установлено, что эта щель возникает при $T = T_c$ вследствие спаривания электронов с противоположными импульсами и монотонно увеличивается по мере понижения температуры до нуля. Ее назвали сверхпроводящей щелью. По иронии судьбы, энергетическая щель в спектрах возбуждений купратных ВТСП не столько проясняет ситуацию, сколько запутывает, поскольку появляется она при температуре $T^* > T_c$ (рис. 1a). Природа этой “высокотемпературной щели”, называемой псевдощелью, до сих пор не ясна. Установлено лишь, что сверхпроводящая щель при $T < T_c$ точно имеется вблизи узловых направлений зоны Бриллюэна, а псевдощель при $T_c < T < T^*$ – вблизи антиузловых (рис. 1b), тогда как однозначного ответа на вопрос о наличии или отсутствии обеих щелей в других областях импульсного пространства (сверхпроводящей – в антиузловой, псевдощели – в узловой) пока нет.

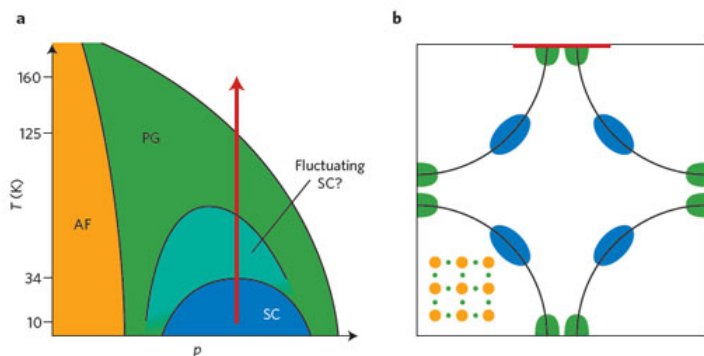


Рис. 1. *a* - Фазовая диаграмма ВТСП в координатах температура – концентрация носителей. AF – антиферромагнетизм, SC – сверхпроводимость, PG – псевдощелевая фаза. Красная стрелка указывает температурный диапазон, исследованный в [1]. *b* - Сверхпроводящая щель (синий цвет) и псевдощель (зеленый цвет) преобладают в разных участках двумерной зоны Бриллюэна слоев CuO_2 (на вставке).

Главная проблема при интерпретации экспериментов по ARPES-спектроскопии ВТСП заключается в том, как, собственно, отличить сверхпроводящую щель от псевдощели. Авторы работы [1] предложили следующий критерий: сверхпроводящая щель должна обладать электрон-дырочной симметрией относительно импульса Ферми, а щель другой природы – нет. Они проанализировали ARPES-спектры монокристаллов ВТСП $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{La}_x\text{CuO}_{6+\delta}$ с $T_c = 34$ К и обнаружили, что при $T_c < T < T^*$ эта симметрия нарушена. Казалось бы, отсюда следует отсутствие некоррелированных куперовских пар в псевдощелевой фазе, то есть – несверхпроводящая природа псевдощели. Но окончательные выводы делать рано. Ведь в [1] симметрия псевдощели была изучена только в антиузловом направ-

И далее ...

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

2 Нанопровода из
дефектов в графене

Логика из памяти

3 Плазмороны в графене

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

3 Экспериментальное
доказательство нарушения
временного неравенства Белла

4 В поисках новых
твёрдых кубитов

5 Марганец-платиновый
кубизм

СПИНТРОНИКА

5 Подобное подобным или
как возбудить колебания вихря

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

6 Углеродные нанотрубки и
заболевания лёгочной ткани

7 Полевой катод на основе угле-
родных нанотрубок с аномаль-
но высоким током эмиссии

8 Изготовление электронных
приборов на основе графенов

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

9 Выездная сессия Совета

КОНФЕРЕНЦИИ

Семинар по магнетизму
6 июля 2010 г.

10 НОВЫЕ ИЗДАНИЯ

лени – там, где псевдощель максимальна. Нельзя исключать возможность наличия при $T > T_c$ некоррелированных пар с более низкими энергиями – вблизи узлов. Требуются новые ARPES-эксперименты, захватывающие более широкий диапазон импульсного пространства. А лучше всего было бы взять, да и померить заряд носителей при $T > T_c$: e или $2e$? Вот только как это сделать?

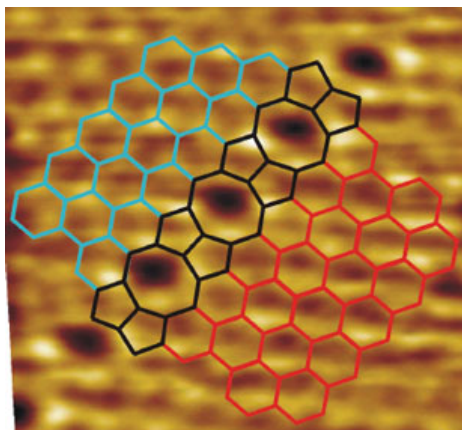
Л.Опенков

1. M.Hashimoto et al., *Nature Phys.* 6, 414 (2010).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Нанопровода из дефектов в графене

Для многих практических применений графена требуется контроль его электронной структуры на наноуровне. Но делать это путем химического допирования или модуляции диэлектрической щели электрическим полем довольно сложно. Альтернативой видится создание в графене протяженных дефектов структуры шириной всего лишь несколько атомов, что должно приводить к одномерной модуляции распределения носителей заряда. Единственный тип линейных дефектов, который до сей поры удавалось создать в графене – это края графеновых нанолент. Однако “болтающиеся” связи граничных атомов углерода делают такие дефекты химически неустойчивыми. В работе [1] сообщается о наблюдении в эпитаксиальном графене на подложке Ni(111) цепочек топологических дефектов из пяти- и восьмиугольников, образующихся в результате трансформаций Стоуна-Уэльса (см. рис.).



Цепочка дефектов в графене.

Выбор подложки Ni(111) не случаен: в растущем на ней графене одна половина атомов углерода находится над атомами Ni, а другая – над “пустыми узлами”. Так как последним отвечают две неэквивалентные конфигурации (ОЦК и ГПУ) с близкими энергиями, то в процессе роста возможно формирование сдвинутых друг относительно друга участков графена. На их границе и образуется цепочка дефектов. Сканирующая туннельная микроскопия показала, что плотность электронных состояний у этих цепочек такая же, как у квазиодномерных про-

водников шириной около 1 нм, то есть их, в принципе, можно использовать в качестве нанопроводов для связи между элементами наноэлектронных устройств. Но для этого нужно сначала научиться выращивать графен не просто со спонтанно сформированными протяженными дефектами, а с их определенной, заранее заданной конфигурацией.

Л.Опенков

1. J.Lahiri et al., *Nature Nanotech.* 5, 326 (2010).

Логика из памяти

Основным логическим элементом в современных процессорах является инвертер на основе КМОП пары: двух кремниевых полевых транзисторов с разным типом проводимости канала (электронной и дырочной). В двух логических состояниях (“0” и “1”) один транзистор открыт, другой закрыт, поэтому протекающий ток оказывается сравнительно малым.

Элементы памяти работают совсем на других физических принципах. Обычно в них используется либо накопление заряда, либо изменение магнитного состояния, либо изменение структуры (фазовый переход). Все это приводит к переключению проводимости с низкой на высокую или наоборот.

Сотрудники Hewlett-Packard Laboratories (США) задались целью научить схемы памяти логически мыслить [1]. Фактически, представляемая работа является развитием предыдущей [2] на более высоком технологическом уровне: размер элементов стал 50 нм. На рис. 1а представлен вид исследуемой структуры, полученный с помощью атомно-силового микроскопа. На нижнюю металлическую шину нанесен молекулярный слой, на него наложены верхние шины. Структура является частью т.н. crossbar архитектуры, в которой видится будущее схем памяти в области наноразмеров. Авторы выбрали диодные элементы, на них запись и считывание производится с помощью одних и тех же электродов. На рис. 1б представлена идеализированная ВАХ диода с гистерезисом, т.н. memristor=memory+resistor. Два логических состояния диода описываются в терминах ключей. Низкое сопротивление – это замкнутый ключ (“1”, closed), высокое сопротивление – это разомкнутый ключ (“0”, opened). На нижнюю шину подается напряжение считывания -2В. Тогда импульс напряжения -5В длительностью 2 мкс переводит диод в состояние с высокой проводимостью, а напряжение +9В переводит диод в состояние с низкой проводимостью. Пока это только описание работы отдельных независимых элементов памяти, и никакой логики тут нет. Чтобы получить логику надо устроить взаимодействие соседних элементов P и Q так, чтобы переключение одного из них зависело от состояния другого (рис. 2а). Идея организации взаимодействия очень простая: напряжение на нижней шине на элементе Q зависит от состояния элемента

Р. На элементы подаются импульсы напряжения чуть больше и чуть меньше напряжения переключения (V_{SET} и V_{COND} , рис. 1b). Таким образом, на элементах Q и P выполняется логическая операция pIMPq, задаваемая таблицей 2b. Название операции IMP=implementation зародилось в “глубокой древности”, когда еще не были известны транзисторы, и люди пытались создать логические схемы на основе нелинейных сопротивлений.

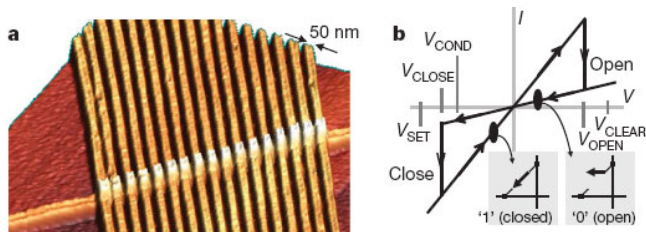


Рис. 1. а - Вид структуры, б - ВАХ диода.

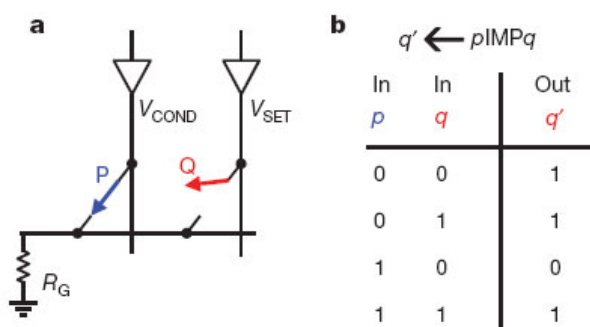


Рис. 2. Переключение двух соседних диодов (а). Таблица логической операции (б).

Несмотря на изящество работы, по быстродействию структура значительно уступает логическим схемам на кремниевых транзисторах, которые сейчас продвигаются в область терагерцовых частот. Однако, предлагаемая идея может прекрасно заработать со всем на других структурах и материалах.

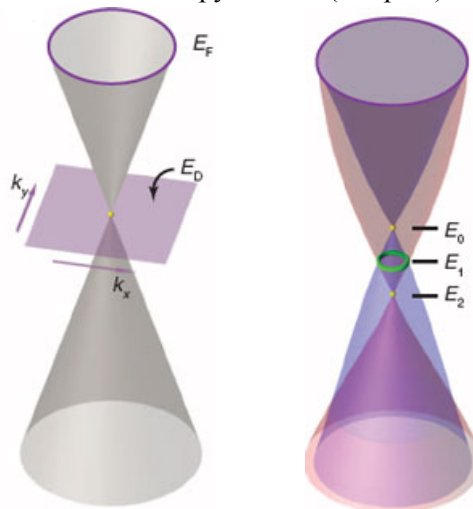
В.Вьюрков

1. J.Borghetti et al., *Nature* **464**, 873 (2010).
2. P.J.Kuekes et al., *J. Appl. Phys.* **97**, 034301 (2005).

Плазмороны в графене

Отличительной особенностью электронной структуры графена является линейный закон дисперсии вкупе с отсутствием диэлектрической щели между валентной зоной и зоной проводимости, касающимися друг друга в дираковской точке E_D . Но такая простая картина справедлива только для свободных электронов, в пренебрежении многочастичными эффектами. Фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением показала [1], что в допированном ($n \sim 10^{13} \text{ см}^{-2}$) графене взаимодействие электронов с плазмонами (коллективными колебаниями плотности заряда) приводит к существенному изменению топологии энергетических зон вблизи E_D . Это связано с формированием композитных квазичастиц – плазморонов (дырка + плазмон), давно предсказанных теоретиками, но в графене пока не

наблюдавшихся. Плазморонные зоны, как и зарядовые, пересекаются друг с другом в одной точке, а с зарядовыми – по окружности (см. рис.).



Энергетический спектр графена в одночастичной картине (слева) и с учетом электрон-плазмонного взаимодействия (справа).

Наилучшее соответствие расчетов экспериментальным данным достигается при величине константы эффективного кулоновского отталкивания электронов $\alpha_G = e^2/hv_F\epsilon \approx 0.5$. Допирование не изменяет закон дисперсии плазморонов, но приводит к их затуханию из-за рассеяния на примесных ионах. Взаимодействие плазмонов с неравновесными носителями заряда в графене может быть использовано для конструирования новых приборов, таких как, например, терагерцовые усилители и плазмонные лазеры.

1. A.Bostwick et al., *Science* **328**, 999 (2010).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Экспериментальное доказательство нарушения временного неравенства Белла

А.Эйнштейну приписывают следующее высказывание: “Мне приятно сознавать, что Луна находится на своем месте, даже если я на нее не смотрю”. Эйнштейн считал, что макроскопические объекты не подчиняются законам квантовой механики, и соотношение неопределенностей к ним не относится. 25 лет назад A.Leggett и A.Garg опубликовали статью “Квантовая механика против макроскопического реализма: где находится магнитный поток, когда на него никто не смотрит?” [1], в которой предложили способ количественной проверки того, действительно ли макроскопический объект в каждый момент времени пребывает в каком-то одном определенном состоянии или все же в суперпозиции нескольких различных состояний. В качестве конкретного примера такого объекта в [1] был рассмотрен замкнутый сверхпроводящий контур, направление магнитного потока через который определяется направлением циркулирующего по контуру сверхтока. Авторы [1] показали, что корреляции

между результатами последовательных измерений потока (или, в общем случае – состояния произвольной двухуровневой системы) описываются неравенством (часто называемым временным неравенством Белла), которое должно нарушаться, если временная эволюция системы происходит согласно квантово-механическим, а не классическим законам. Факт нарушения этого неравенства установлен в работе [2] французских и американских физиков, использовавших отличную от изначально предложенной [1] сверхпроводящую цепь – так называемый “транзмон”, включающий джозефсоновский контакт и сверхпроводниковый резонатор. Существенной составляющей эксперимента [2] стало применение методики “слабых” измерений, не разрушающих состояние измеряемой системы. Нарушение упомянутого неравенства было зафиксировано в [2] с точностью, превышающей пределы экспериментальной погрешности, не оставив сомнений в том, что и макроскопические объекты живут по квантовым правилам.



И одному лишь Богу ведомо, что там выделяет Луна, когда мы на нее не смотрим...

*По материалам заметки
J.E.Mooij, Nature Phys. 6, 401 (2010).*

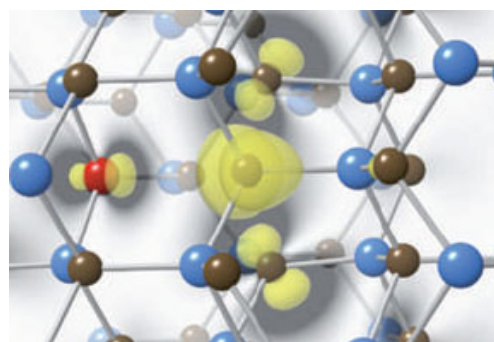
1. A.Leggett, A.Garg, Phys. Rev. Lett. 54, 857 (1985).
2. A.Palacios-Laloi et al., Nature Phys. 6, 442 (2010).

В поисках новых твердотельных кубитов

То, что для одной из первых экспериментальных реализаций твердотельных квантовых битов (кубитов) были использованы холодные атомы в магнитной ловушке, – не случайность. Ведь именно таким атомам присущи все необходимые ингредиенты идеального кубита: практически полная изоляция от

внешнего окружения; воспроизводимый энергетический спектр; сравнительная простота управления путем воздействия электромагнитными импульсами. Позднее было обнаружено, что реальную конкуренцию атомным кубитам могут составить твердотельные кубиты на основе дефектов азот-вакансия (NV-центров) в алмазе, когда один из ближайших к изолированной вакансии атомов углерода замещен азотом. Набор базисных состояний заряженного NV-центра формирует его низколежащие уровни, квантовые операции осуществляются за счет облучения светом в видимом диапазоне длин волн, а рабочая температура может быть очень высокой – вплоть до комнатной. Существенными недостатками алмазных NV-центров являются чувствительность их характеристик к конкретному атомному окружению и очень слабая интенсивность оптических переходов без участия фононов.

В работе [1] поставлена задача систематического поиска новых, более подходящих для целей квантовой информатики твердотельных кубитов. Предъявляемые к ним требования таковы: 1) основное состояние должно представлять собой подходящий мультиплет; 2) возможность инициализации кубита оптическими методами; 3) различие люминесценции с разных уровней (для считывания состояния кубита); 4) отсутствие интерференции оптических переходов с электронными состояниями матрицы; 5) достаточно большая разность энергий между связанными состояниями, чтобы избежать термоактивированных переходов между ними. Это что касается собственно кубитов. Есть требования и к материалу матрицы: широкая запрещенная зона, слабое спин-орбитальное взаимодействие, доступность в виде качественных объемных или тонкопленочных монокристаллов. Выполненные в [1] расчеты показали, что всем перечисленным критериям удовлетворяют NV-центры в 4Н политипе карбида кремния (см. рис.). Теперь, продолжая теоретические изыскания, нужно подключать эксперимент.



Структура и атомные орбитали заряженного NV-центра в 4Н политипе SiC. Красные, черные и синие кружки – атомы N, C и Si, соответственно. Зеленым цветом изображены атомные орбитали основного состояния.

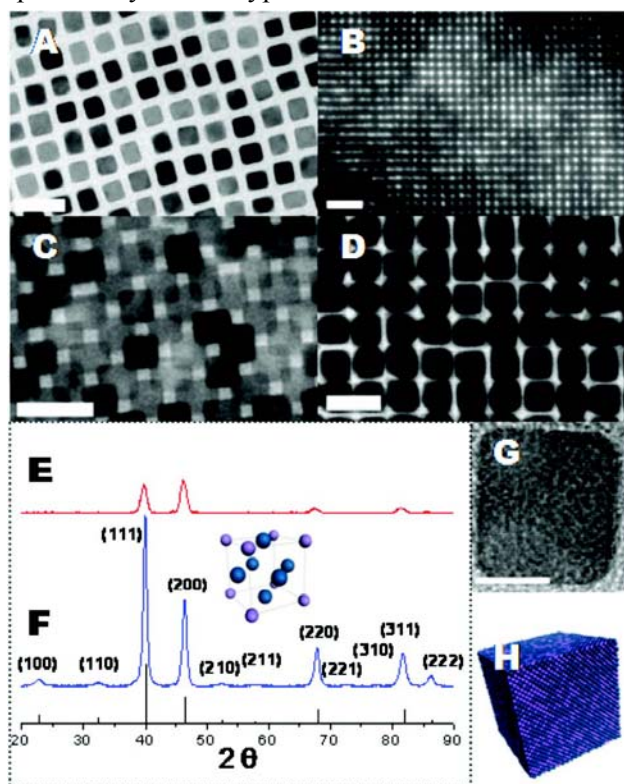
*По материалам заметки
D.DiVincenzo, Nature Mater. 9,468 (2010).*

1. J.R.Weber et al., Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 2010.

ПерсТ, 2010, том 17, выпуск 11/12

Марганец-платиновый кубизм

Кубизм как авангардное направление в живописи зародился в начале XX века и неразрывно связан с такими известными именами как Пабло Пикассо и Жорж Брак. Пережив бурное развитие и достигнув своего пика, он оказал значительное влияние на становление современного искусства, однако уже к двадцатым годам прошлого столетия кубизм практически завершил свое существование, но его отголоски до сих пор проявляются в различных сферах человеческой деятельности, имеющих к живописи, казалось бы, очень отдаленное отношение. Элементы кубизма можно заметить и в современной науке, например, в области каталитической химии – своеобразный кубизм на уровне “нано”.



Изображения, полученные с помощью просвечивающей электронной микроскопии: непосредственно синтезированные марганец-платиновые “нанокубики” (A), область самоорганизации (B), самоорганизованные марганец-платиновые “нанокубики” (C, D).

Спектры порошковой рентгеновской дифракции Mn-Pt нанокристаллов до (E) и после (F) отжига при 600°C. На вставке показана элементарная ячейка MnPt_3 .

Изображение Mn-Pt “нанокубиков”, полученное с помощью просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (G).

Модель синтезированных Mn-Pt “нанокубиков” с разупорядоченной структурой (H).

Масштаб: 20 нм (A, C, D); 50 нм (B); 5 нм (G). Фиолетовые и синие шарики представляют атомы марганца и платины соответственно.

В центре внимания работы [1] оказались марганец-платиновые нанокристаллы, молекулярные стереометрические примитивы, которые вполне могут оказаться перспективными материалами для про-

тонно-обменных мембранных топливных элементов (proton-exchange membrane fuel cells – PEMFC), а именно использоваться в качестве эффективных катализаторов.

Авторами работы [1] предложен низкотемпературный жидкофазный синтез марганец-платиновых “нанокубиков” и исследованы их электрокаталитические свойства. На рис. A-D представлены снимки синтезированных образцов, полученные с помощью просвечивающей электронной микроскопии. Авторы отмечают, что непосредственно синтезированные нанокристаллы Mn-Pt обладают разупорядоченной структурой, однако после отжига в течение получаса при температуре около 600°C “нанокубики” переходят в упорядоченную фазу MnPt_3 , что экспериментально подтверждается порошковой рентгеновской дифракцией (рис. E, F). Средняя длина ребра такого кубика составляет 7.7 нм (рис. G, H). В результате дальнейшего исследования электрокаталитических свойств полученных образцов авторы пришли к выводу, что в ряде случаев марганец-платиновые “нанокубики” обладают лучшей каталитической активностью, чем ряд коммерческих платиновых катализаторов (например, ETEK Pt) и с успехом могут применяться как в качестве катодных, так и анодных катализаторов топливных элементов.

М. Маслов

I. Y. Kang et. al., *J. Am. Chem. Soc.* **132**, 7568 (2010).

СПИНТРОНИКА

Подобное подобным или как возбудить колебания вихря

Тематика магнитных вихрей в настоящее время переживает период второго рождения, что связано с возможными приложениями в области магнитной памяти и телекоммуникаций. В недавней статье российских и французских ученых [1] показано, что ток, пропущенный сквозь магнитный слой с вихревым распределением намагниченности, весьма эффективно возбуждает в нем колебания вихря.

Динамические свойства вихрей привлекли особый интерес несколько лет назад [2] в связи с обнаружением осцилляций вихрей в СВЧ диапазоне. Колебания возникали в наноразмерных столбиках сечением порядка 100-200 нм, состоящих из двух магнитных слоев, разделенных немагнитными прослойками (спиновый вентиль, см. вставку к рис. 1а). Первый слой играл роль спинового поляризатора для протекающего через него тока, а второй, “свободный”, слой с вихревым распределением намагниченности — роль осциллятора, которому под действием спин-поляризованного тока передавался момент количества движения, благодаря чему возникало периодическое движение ядра вихря по круговой траектории. Такая колебательная система характеризовалась высокой добротностью (около

4000) и сравнительно большой для объекта столь малых размеров излучаемой мощностью – около 1 нановатта. Матрицы из когерентно излучающих наностолбиков могут всерьез рассматриваться как источники электромагнитных волн СВЧ диапазона.

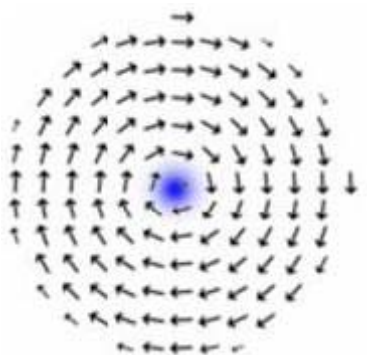
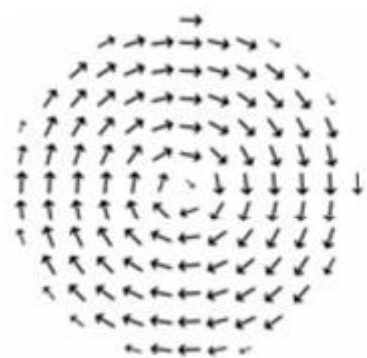
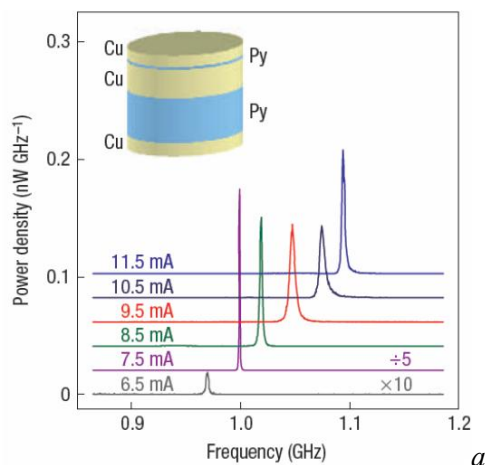


Рис. 1. *а* - Экспериментальные данные из работы [2]. Пример поведения спектрального отклика системы при различных токах, пропускаемых через образец. Вставка – схематичное изображение системы – Pu (пермаллой, 60 нм)/Cu (40 нм)/Pu (5 нм). *б* - Круговое распределение намагниченности в поляризаторе. *в* - Вихревое распределение, отличающееся от кругового наличием ядра (вертикальная компонента намагниченности показана синим цветом) [1].

До сего времени при теоретическом анализе описанного выше эффекта предполагалось, что намагниченность слоя-поляризатора однородна и направлена вдоль оси наностолбика. Однако это далеко не всегда соответствует реальной экспериментальной ситуации, что заставило авторов [1] рассмотреть конфигурацию, при которой намагниченность поляризатора лежит в плоскости слоя. Оказалось, что

при неоднородном распределении намагниченности в поляризаторе создаются условия для возбуждения колебаний в свободном слое, причем, что любопытно, наиболее эффективно возбуждение колебаний достигалось тогда, когда поляризатор был подобен самому осциллятору – при круговом или вихревом распределении намагниченности (рис.1 б, в, соответственно). Радиус и частота кругового движения ядра вихря возрастали с величиной тока по сублинейному закону.

Отличительной особенностью нового способа возбуждения является зависимость условий возникновения колебаний от хиральности (направления закручивания) вихрей, в то время как при старом механизме возбуждения можно было бы ожидать зависимости от полярности вихря (направления намагниченности в ядре). Так что в феноменологическом плане эти два эффекта легко различимы, что и подтверждается результатами недавних экспериментов [3].

А.Пятаков

1. A.V.Khvalkovskiy et. al, *Appl. Phys. Lett.* **96**, 212507 (2010).
2. V.S.Pribiag, et. al., *Nature Phys.* **3**, 498 (2007).
3. N.Locatelli et. al., *arXiv:1005.0290v1* (2010).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Углеродные нанотрубки и заболевания лёгочной ткани

После теракта 11 сентября 2001г. прошло почти 9 лет, но его последствия продолжают сказываться. У многих спасателей – пожарников, медиков и тех, кто разбирали завалы, - здоровье полностью не восстановилось. В результате взрыва, обрушения башен Всемирного торгового центра ВТЦ и пожаров образовалось огромное плотное облако токсичной пыли и дыма. Это облако содержало тысячи различных компонентов, среди которых были продукты сгорания топлива для реактивных двигателей, цементная пыль, асбест, тяжелые металлы, многочисленные органические соединения, микроскопические кусочки стекла... Ухудшение здоровья наблюдалось не только у спасателей, но даже у окрестных жителей. Больше всего пострадали дыхательные пути и лёгкие. Американские медики недавно опубликовали результаты 7-летних исследований состояния здоровья 13 тысяч пожарных и работников скорой медицинской помощи, работавших на месте трагедии в период между 11 и 24 сентября 2001г. [1].



Проверка, проведенная через 6 месяцев, показала резкое ухудшение работы лёгких. Более того, у многих и через шесть с лишним лет заметного улучшения не наступило. В другой работе [2] учёным-медикам из США удалось изучить лёгочную ткань у 7 пострадавших, которые оказывали первую помощь или занимались восстановительными работами 11-12 сентября 2001г. У этих людей, прежде здоровых, некурящих, после воздействия пыли ВТЦ были обнаружены серьёзные заболевания дыхательных путей и непонятные изменения в легких. В 2005-2007гг. по рекомендации лечащих врачей в американском медицинском центре *Mount Sinai Medical Center* им была проведена видеоторакоскопическая биопсия лёгких (*торакокопия - врачебный метод осмотра плевральной полости с помощью специального оптического инструмента, который вводят через прокол или небольшие разрезы в грудной стенке; сейчас часто используют с видеосопровождением*). С разрешения пациентов авторы [2] использовали видеоматериалы и образцы биопсии для клиничко-патологических исследований и минералогического анализа. В лёгочной ткани ученые неожиданно обнаружили одностенные **углеродные нанотрубки** (УНТ) разных размеров и длины (рис.1А)!

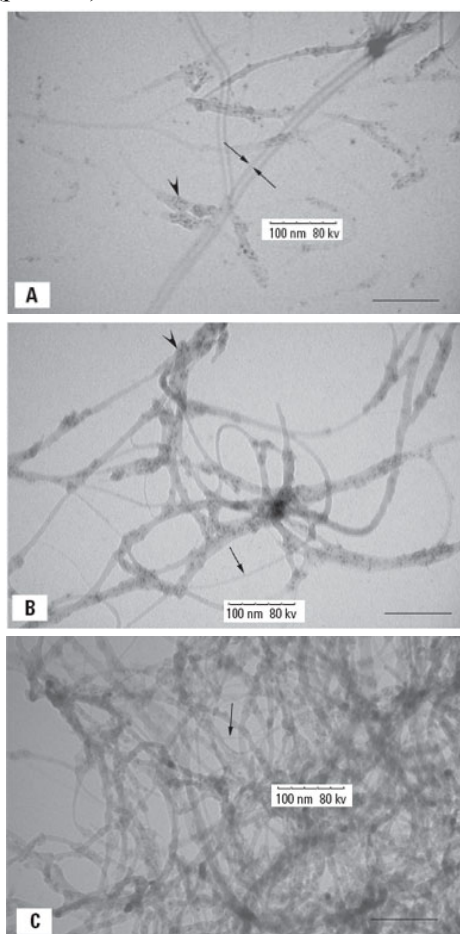


Рис.1. Электронная микроскопия углеродных нанотрубок. Длинная стрелка указывает на отдельную нанотрубку, короткая стрелка – на частицы металла. (А) УНТ в лёгочной ткани пациента. (В) УНТ в образце ВТЦ пыли. (С) Контрольный образец нанотрубок.

Идентификация нанотрубок была, в частности, основана на сравнении с контрольным образцом, взятым из Национального института профессиональной безопасности и здоровья США (рис.1С). УНТ были найдены и в четырех из семи образцах пыли, собранной у ВТЦ (рис.1В). Конечно, кроме углеродных нанотрубок (УНТ) в лёгочной ткани было обнаружено много другого: силикаты алюминия и магния необычной пластинчатой конфигурации, хризотил-асбест (немного выше фона в Нью-Йорке), фосфат и сульфат кальция, кусочки стекла. Авторы [2] повторно проанализировали около 60 образцов лёгочной ткани, собранных ими за 20 лет при изучении воздействия асбеста или взятых для исследований во время операций на лёгких у пациентов, не подвергавшихся воздействию пыли ВТЦ. Нанотрубки (и пластинчатые силикаты) во всех образцах отсутствовали.

Маловероятно, что в 2001г. около ВТЦ в легкие пациентов попали искусственно синтезированные нанотрубки. Скорее всего, как и полагают авторы [2], к их формированию в больших количествах привели высокие температуры при горении топлива, наличие углерода и катализаторов – металлических частиц. Экспериментальные исследования на мышах показали, что вдыхание длинных нанотрубок может со временем привести к патологическим изменениям в лёгких (ПерсТ [3]). Результаты минералогического анализа, а также клинических и гистопатологических исследований, представленные в [2], предполагают наличие связи между ВТЦ пылью и лёгочными заболеваниями. Однако пока неясно, какой вклад в это дают углеродные нанотрубки. Их неожиданное обнаружение в лёгочных тканях и ВТЦ пыли требует дальнейших исследований.

О.Алексеева

1. T.K.Aldrich et. al., *New Engl. J. Med.* **362**, 1263 (2010).
2. M.Wu et. al., *Environ. Health Perspect.* **118**, 499 (2010).
3. [ПерсТ 16, вып. 23, с. 3 \(2009\).](#)

Полевой катод на основе углеродных нанотрубок с аномально высоким током эмиссии

Разработка полевых катодов на основе углеродных нанотрубок (УНТ) является одним из основных направлений использования этого нового углеродного материала. Преимущества УНТ как источника полевой эмиссии электронов связаны с их высоким аспектным отношением (отношение длины к диаметру), благодаря которому обеспечивается значительное усиление электрического поля по сравнению с полем в межэлектродном промежутке в отсутствие УНТ. Тем самым достаточно высокий ток эмиссии достигается при относительно невысоком приложенном напряжении, что открывает перспективы создания нового поколения вакуумных элект-

тронных устройств с пониженными весогабаритными характеристиками и пониженным уровнем потребляемой мощности. Максимально достижимая плотность тока эмиссии катода на основе УНТ определяется, с одной стороны, эмиссионными свойствами индивидуальных нанотрубок, составляющих эмиттер, а с другой стороны – геометрией всего устройства в целом. Так, при слишком высокой поверхностной плотности расположения УНТ в массиве, составляющем эмиттер, коэффициент усиления электрического поля снижается в результате экранирования поля соседними нанотрубками. Оценки предельной плотности тока, выполненные с учетом этого эффекта, дают величины порядка 100 А/см^2 , однако результаты многочисленных экспериментов указывают на гораздо более низкие значения (порядка 1 А/см^2). Такое несоответствие обусловлено статистическим разбросом параметров УНТ, присущим многим катодам. В силу этого разброса основной вклад в эмиссию вносят не все нанотрубки, составляющие массив, а только те из них, которые характеризуются максимальным коэффициентом усиления электрического поля. Обычно это трубки, выступающие из массива и характеризующиеся максимальной степенью вертикальной ориентации. Однако с ростом приложенного напряжения доля УНТ, способных внести заметный вклад в эмиссию, возрастает, что позволяет рассчитывать на достижение предельно возможных токов эмиссии. Эти предположения получили подтверждение в экспериментах, выполненных недавно в Univ. of Science and Technology Beijing (КНР). Массив многослойных УНТ высотой около 7 мкм и диаметром 10 нм выращивали в течение 20 мин в кварцевой печи при температуре 700°C с использованием метода химического осаждения паров (CVD) на кремниевой пластине, имеющей форму диска диаметром 5 см [1]. Нанотрубки плотно располагаются на поверхности подложки и обладают высокой степенью вертикальной ориентации. Пластина с нанотрубками с помощью проводящего клея прикрепляется к медному кольцу, который используют в качестве катода. Эмиссионные измерения были проведены при межэлектродном расстоянии 98 мкм в условиях либо одинарного, либо двойного импульса прикладываемого напряжения. Амплитуда одинарного импульса составляет 1.6 МВ, а амплитуда двойного импульса – 0.8 МВ. Длительность каждого из импульсов напряжения – 100 нс, а интервал между повторными импульсами 400 нс. Ток эмиссии в режиме однократных импульсов составляет 1896 А, а в режиме двойных импульсов – 2115 А. При этом в случае двойного импульса приложенного напряжения ток эмиссии во втором импульсе в десятки раз превышает ток первого импульса. Полученный результат соответствует максимально достижимой величине плотности тока эмиссии около 107 А/см^2 , что является рекордом для катодов на основе УНТ. Тот факт, что более высокий ток эмиссии наблюда-

ется в режиме двойных импульсов при меньших величинах приложенного напряжения, указывает на роль приповерхностного плазменного слоя, который образуется в результате прохождения первого импульса тока и способствует повышению тока эмиссии при пониженном приложенном напряжении. Наблюдаемая величина тока эмиссии снижается по мере увеличения числа импульсов как в режиме однократных, так и в режиме двойных импульсов. Таким образом, уже после ста двойных импульсов величина тока эмиссии снизилась примерно на 15%. Скорость снижения тока эмиссии в режиме однократных импульсов оказалась примерно вдвое ниже.

А.Елецкий

1. Q.Liao et. al., *Appl. Phys. Lett.* **96**, 073109 (2010).

Изготовление электронных приборов на основе графенов

Миниатюрные размеры в сочетании с высокой термической, химической и механической стабильностью, а также с хорошими транспортными характеристиками делают графены одним из наиболее перспективных кандидатов на ведущую роль в нанoeлектронике будущего. Для практической реализации этих перспектив необходимо научиться встраивать графены в электронные схемы, обеспечивая воспроизводимые электрические характеристики и стабильную работу всего устройства. Несмотря на усилия многих исследовательских групп, направленные на решение этой задачи, до сих пор не существует достаточно надежного метода изготовления электронного прибора, основанного на графене, что объясняется естественными трудностями работы с объектами нанометровых размеров.

Стандартный путь локализации положения графена в заданной точке схемы – использование литографии, однако в результате литографической процедуры обычно происходит загрязнение поверхности графена остатками материала резиста, а это, в свою очередь, отражается на воспроизводимости электронных характеристик прибора. Похоже, что группе исследователей из Univ. of California, Riverside (США), удалось нащупать способ преодоления указанных трудностей [1]. Этот способ основан на испарении металла через твердую кремниевую маску. В качестве исходного материала используют отполированную с двух сторон кремниевую пластину с кристаллической ориентацией (100), толщиной 500 мкм и площадью $1 \times 1 \text{ см}^2$. На одну из сторон этой пластины напыляют слой хрома толщиной 200 нм, поверх которого затем наносят тонкий слой полиметилметакрилата, используемого в качестве резиста для электронного пучка. Слой хрома служит маской в процессах плазменного и щелочного (KOH) травления пластины. Поскольку контролируемое травление толстой крем-

ниевой пластины затруднено, на первой стадии процесса с целью уменьшения толщины участка пластины проводят ее травление с помощью КОН. Это приводит к образованию на тыльной стороне пластины углубления глубиной 400 мкм, так что толщина пластины на этом участке уменьшается 100 мкм. Затем на лицевую поверхность пластины с помощью электроннолучевой литографии наносят маску, что позволяет удалить слой хрома в соответствии с заданным шаблоном. Полученные структуры представляют собой систему нанесенных на кремниевую подложку электрических контактов, отстоящих друг от друга на расстоянии порядка нескольких микрон. Эта система используется для измерения электрических характеристик графенов. Однослойные графены наносят на подложку между контактами с помощью наноманипулятора и с целью удаления примесей в течение 45 мин отжигают при температуре 200°C в потоке Ag/H₂. Электрические измерения, выполненные по двухконтактной схеме, привели к величинам подвижности носителей, равной 4000 и 7000 см²/В·с при комнатной температуре и при 4.2 К, соответственно. Наряду с приборами, в которых графены располагаются на поверхности подложки, были изготовлены устройства с графенами, подвешенными над продольным углублением между контактами. В этом случае измеренные величины подвижности носителей оказались равными 2000 и 60000 см²/В·с при комнатной температуре и при 4.2 К, соответственно.

А.Елецкий

1. W.Bao et. al., Nano Research 3, 98 (2010).

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

Выездная сессия Совета

В нынешнее время, как никогда важна пропаганда науки, научных достижений, поддержание высокого уровня общения в научном сообществе. Научные советы РАН обеспечивают координацию фундаментальных исследований в стране, необходимый уровень общения в научном сообществе, анализируют состояние и перспективы развития науки в России и в мире. Одной из форм работы Научных советов является проведение выездных сессий.

Очередная выездная сессия Научного совета РАН по физике конденсированных сред состоялась с 15 по 18 июня 2010г. в г. Ростове-на-Дону, на базе Южного научного центра РАН и НИИ физики Южного федерального университета. Было заслушано и обсуждено 19 обзорных докладов, отражающих состояние научных исследований в данной области физики. Участники семинара посетили лаборатории НИИ физики ЮФУ.

Хотелось бы отметить высокий уровень результатов научных исследований, представленных на Сессии. Среди результатов полученных в Южном научном центре РАН и НИИ физики ЮФУ особый интерес вызвали оригинальные результаты, пред-

ставленные в докладах Д.А. Сарычева, С.П. Кубрина и В.М. Разномазова “Развитие методов рентгеноспектального анализа и мессбауэровской спектроскопии для исследований конденсированных сред” и реализации программы коммерциализации интеллектуальной собственности на эти методы; доклад В.М. Мухортова “Физика гетероструктур на основе наноразмерных сегнетоэлектрических пленок: получение, свойства, применения”, открывающий новые перспективы по созданию элементов памяти и новых каналов передачи информации. Большой интерес слушателей вызвал доклад В.Н. Курлова “Профилированные кристаллы сапфиров для медицины”, о материаловедческих разработках и “ноу-хау”, полученных в ИФТТ РАН, которые позволяют выращивать непосредственно из расплава кристаллы сапфира заданной формы, в т.ч. достаточно сложной, и их применении в области медицины (медицинские инструменты и имплантаты).

На участников Сессии большое впечатление произвела доброжелательная творческая атмосфера в научном коллективе ЮНЦ РАН и НИИ физики ЮФУ, высокий уровень проводимых в них исследований и хорошее оснащение научным оборудованием лабораторий НИИ физики ЮФУ, в особенности наличие очень хорошего парка приборов для рентгеновской и мессбауэровской спектроскопии, а также для анализа поверхностей металлов и керамик.

Информацию о Выездной сессии Совета можно посмотреть на сайте <http://sovetsks.issp.ras.ru>

КОНФЕРЕНЦИИ

Семинар по магнетизму 6 июля 2010 г. (17.00)
ИФП им. П.Л. Капицы РАН (конференц-зал)

А.Чубуков (University of Wisconsin-Madison, США)
“Magnetism and superconductivity of Fe-pnictides”

7-я Международная конференция
“Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технологии. Конструкционные и функциональные материалы (в том числе наноматериалы) и технологии их производства”, 17–19 ноября 2010 г.,
г. Суздаль, Россия

Тематика:

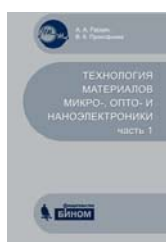
- последние достижения в технологии производства, исследования и математического моделирования структуры и свойств новых форм углерода (фуллеренов, нанотрубок, онионов, карбинов, графенов и др.);
- углеродосодержащие композиты функционального и конструкционного назначения на полимерной, металлической и других основах (углерод-углеродные нанокompозиты, перспективы создания и применения в различных отраслях промышленности, математическое моделирование структуры и свойств наполненных композитов);

- физические и химические принципы создания углеродосодержащих структур функционального и конструкционного назначения на поверхности материалов (изучение взаимосвязи структуры и свойств, применение в биологии и медицине);
- сорбционные и каталитические свойства углеродных материалов, в том числе наноматериалов;
- алмазы и наноалмазы (производство и применение);
- лазерно-плазменные методы синтеза наноструктурированных углеродных материалов.

Заявка на участие в конференции по прилагаемой форме и тезисы должны быть направлены по электронной почте в адреса: oaalexandrovsky@yandex.ru, timofeev@ntcstm.troitsk.ru не позднее **01.08.2010 г.**

Web: <http://www.ruscarbon.com/>

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ



Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники : учебное пособие, ч. 1 и 2

Авторы: Раскин А. А., Прокофьева В. К., Рошин В. М., Силибин М. В.

В учебном пособии рассматриваются физико-химические процессы получения материалов, используемых в микро-, опто- и наноэлектронике, в том числе операции выделения химического индивида из исходного сырья, очистка в виде соединений, финишное рафинирование, получение монокристаллов с заданными свойствами.



Получение и исследование наноструктур : лабораторный практикум по нанотехнологиям

Авторы : Евдокимов А. А. /под ред. Сигова А. С.

Представлены описания лабораторных работ для студентов 2-3 курсов, обучающихся по специальности "Нанотехнологии в электронике". В ходе выполнения работ студенты ознакомятся с некоторыми методами получения наночастиц и нанокомпозигов, приобретут навыки работы с объектами нанометрового размера и овла-

деют современными физико-химическими методами исследования.

Каждый цикл работ предваряется теоретическим введением, которое может играть роль краткого конспекта лекций.

Для студентов, аспирантов, докторантов, преподавателей классических, педагогических и технологических университетов, а также широкого круга специалистов, работающих над проблемами разработки и применения нанотехнологий.



Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий : учебное пособие для вузов. т. 1

Авторы: Чистяков Ю. Д., Райнова Ю. П./ под общ. ред. Коркишко Ю. Н.

Изложены физико-химические основы технологии микроэлектроники.

Дана классификация технологических процессов. Сформулированы критерии, определяющие характер их протекания и качество изделий. Особое внимание уделено процессам эпитаксии, получения тонких пленок, сварки и пайки, механической обработки, очистки поверхности материалов, а также легирования, модифицирования и фотолитографии. Рассмотрены механизмы воздействия электрических полей и излучений на некоторые из этих процессов. Разделение книги на 2 тома обусловлено большим объемом материала, при этом каждый из томов может представлять вполне самостоятельный интерес.

Более подробную информацию можно посмотреть на сайте издательства БИНОМ <http://www.lbz.ru/>

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

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

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О.Алексеева, В.Вьюрков, А.Елецкий,
М.Маслов, Л.Опенов, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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