ПерсТ
Информационный бюллетень
перспективные технологии
наноструктуры сверхпроводники фуллерены
http://perst.issp.ras.ru

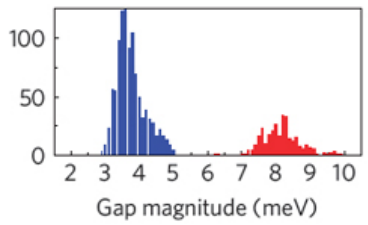
Том 18, выпуск 9 15 мая 2011 г.

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Две сверхпроводящие щели и магнитные вихри с андреевскими связанными состояниями в $Ba_{0.6}K_{0.4}Fe_2As_2$

Если магнитное поле превышает первое критическое, то оно проникает в сверхпроводники второго рода, формируя в них квантованные магнитные вихри. Теория предсказывает, что внутри этих вихрей существуют связанные состояния, образующиеся при андреевском отражении носителей заряда от границ раздела нормальной сердцевины вихря и ее сверхпроводящего окружения. Такие состояния неоднократно наблюдались в обычных низкотемпературных сверхпроводниках с *s*-симметрией параметра порядка. Теория предсказывает, что для сверхпроводящих пниктидов с $s^{\pm}$-симметрией (при которой на каждом отдельно взятом кармане поверхности Ферми параметр порядка знакопостоянен, но имеет разные знаки на дырочных и электронных карманах) андреевские связанные состояния также должны возникать внутри вихрей. В работе [1] китайские и американские физики с помощью сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) измерили локальные дифференциальные ВАХ монокристаллов $Ba_{0.6}K_{0.4}Fe_2As_2$ (T_c = 38 K) с дырочным допированием. Они обнаружили две различные сверхпроводящие щели $\Delta \approx 4$ мэВ и 8 мэВ (см. рис.).



Гистограмма распределения сверхпроводящих щелей в $Ba_{0.6}K_{0.4}Fe_2As_2$, построенная по результатам измерения более 1000 локальных туннельных спектров.

При этом данные по туннельным токам оказались хорошо согласующимися с $s^{\pm}$-симметрией параметра порядка в многозонном сверхпроводнике. При наличии внешнего магнитного поля вихри на СТМ изображениях ассоциировались с областями увеличенной плотностью состояний. В образцах наблюдалась система упорядоченных магнитных вихрей с андреевскими связанными состояниями внутри них, что вполне отвечает теоретическим предсказаниям. Следует, однако, отметить, что в аналогичном пниктиде с электронным допированием $Ba(Fe_{1-x}Co_x)_2As_2$ андреевские связанные состояния не были обнаружены [2]. Одной из причин подобного расхождение могло бы быть появление в вихрях волн спиновой плотности, типичных для пниктидов.

Л. Опенов

1. *L.Shan et al., Nature Phys.* ***7****, 325 (2011).*
2. *Y.Yin et al., Phys. Rev. Lett.* ***102****, 097002 (2009).*

Переход сверхпроводник-диэлектрик в $La_{2-x}Sr_xCuO_4$

Высокотемпературная сверхпроводимость возникает при допировании родительского диэлектрика, когда концентрация свободных носителей *n* достигает определенной пороговой величины. Уменьшение *n*, напротив, ведет к понижению критической температуры

И далее ...

ГРАФЕН

2 Ультраплоский графен на гексагональном нитриде бора

Высокочастотные транзисторы из графена на алмазоподобном углероде

3 Еще один сюрприз от графена: нелокальные квантовые эффекты при комнатной температуре

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

3 Гигантский эффект Керра в магнитоплазмонных кристаллах

НАНОМАТЕРИАЛЫ

4 Наноматериалы и безопасность человека

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

6 Перемагничивание ядра магнитного вихря возбужденными спиновыми волнами

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

7 Синтез однослойных углеродных нанотрубок с узким распределением по диаметрам

Синтез однослойных нанотрубок при пониженных температурах

ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

8 И снова о Хирше…

9 **КОНФЕРЕНЦИИ**

Памяти Е.Г. Максимова

T_c и возврату в диэлектрическое состояние. Вопрос о физическом механизме перехода сверхпроводник-диэлектрик в купратных ВТСП пока остается открытым. Для контролируемого изменения n в ультратонких (толщиной 1; 1.5 и 2 элементарные ячейки) пленках $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ с x = 0.06-0.30 американские и швейцарские физики [1] использовали сильные (> 10^9 В/м) электрические поля в двухслойных полевых транзисторах с жидким электролитом. Варьируя напряжение V_G на управляющем электроде, удается обратимым образом увеличивать и уменьшать n, изменяя тем самым электрические характеристики пленок и их T_c (рис. 1). Анализ большого количества экспериментальных кривых $R(T,V_G)$ для пленок с различными x (рис. 2) показал, что переход сверхпроводник-диэлектрик в купратах обусловлен квантовыми фазовыми флуктуациями.

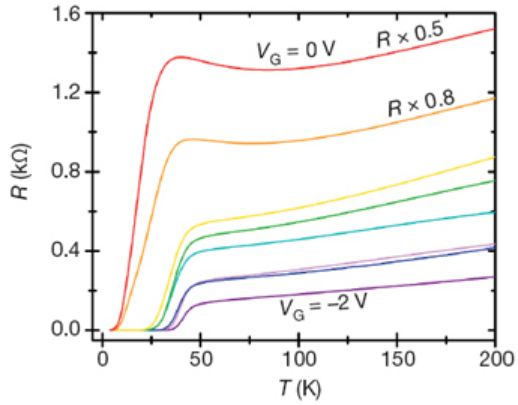


Рис. 1. Изменение температурной зависимости R изначально недодопированной пленки $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ в электрическом поле (V_G – управляющее напряжение). Критическая температура (определяемая по средней точке резистивного перехода) повышается примерно на 30 К благодаря увеличению концентрации подвижных дырок.

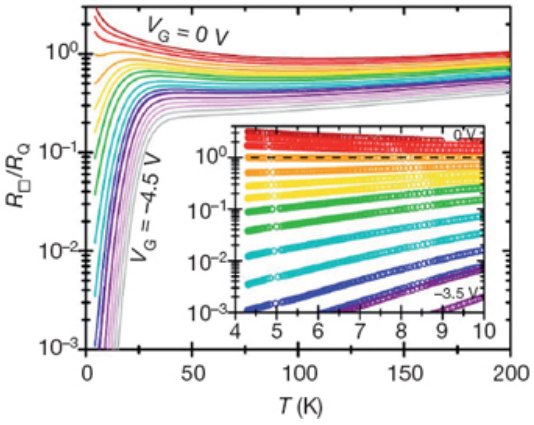


Рис. 2. Семейство кривых $R(T)$ выше и ниже точки квантового фазового перехода сверхпроводник диэлектрик. R_Q = 6.45 кОм.

Величина R в точке перехода равна $R_Q = h/(2e)^2$ = 6.45 кОм – кванту сопротивления для носителей с зарядом $2e$, то есть в квантовой критической точке (при T = 0 и x_c = 0.06 ± 0.01) происходит локализация куперовских пар. Экспериментальные данные согласуются с предсказаниями теории [2].

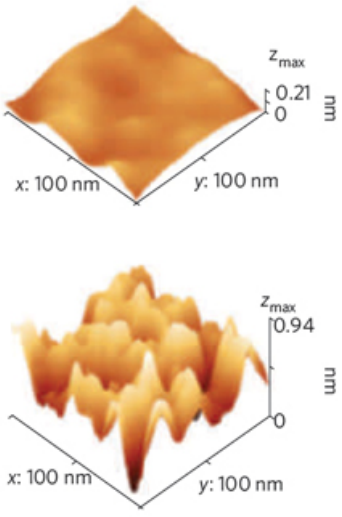
*1. A.T.Bellinger et al., Nature **472**, 458 (2011).*
*2. В.Ф.Гантмахер, В.Т.Долгополов, УФН **180**, 3 (2010).*

ГРАФЕН

Ультраплоский графен на гексагональном нитриде бора

Устройства из графена на подложке из гексагонального нитрида бора (h-BN) имеют отличные электрические характеристики. Это связано со сходством кристаллической структуры графена и h-BN, а также с тем, что ионный характер межатомных связей в h-BN приводит к отсутствию на его поверхности “болтающихся” ковалентных связей и зарядовых ловушек. В работе [1] влияние подложки h-BN на топологию и локальную электронную структуру графена изучено посредством сканирующей туннельной микроскопии и спектроскопии.

Топографические СТМ-изображения монослоя графена на h-BN (вверху) и SiO_2 (внизу).



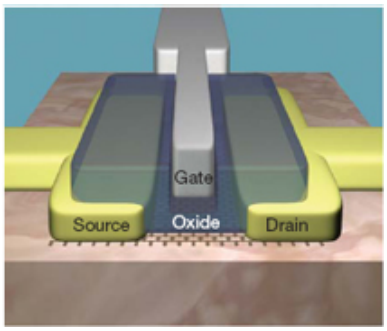
Установлено, что шероховатость графена на h-BN гораздо меньше, чем у графена на SiO_2, а зарядовые флуктуации слабее на два порядка величины. Небольшое (1.8 %) расхождение периодов решеток графена и h-BN приводит к длинноволновой (1.3 нм и 2.6 нм) модуляции структуры графена. В отличие от теоретических предсказаний, взаимодействие графена с h-BN не индуцирует в нем диэлектрическую щель, опять же по причине незначительного несоответствия решеток. В целом же электронные характеристики графена на h-BN оказываются практически такими же, как и у свободного графена. А исследовать (и использовать!) графен на подложке гораздо проще и удобнее.

*1. J.Xue et al., Nature Mater. **10**, 282 (2011).*

Высокочастотные транзисторы из графена на алмазоподобном углероде

Один из путей улучшения характеристик ВЧ транзисторов заключается в использовании материалов с как можно более высокой подвижностью носителей заряда. К таковым, в частности, относится графен – гексагональный монослой из атомов углерода. Сейчас в лабораторных условиях из графена уже изготовлены транзисторы с предельной частотой

$f_T \approx 300$ ГГц. При этом графен механически отслаивали от графита. Но для промышленного производства требуются, конечно, другие технологии. Одна из них предложена в работе [1] сотрудников IBM. Сначала они осаждали графен из паровой фазы на металлическую (медную) подложку, а затем переносили на диэлектрическую подложку из алмазоподобного углерода (см. рис.).



Схематическое изображение высокочастотного транзистора из графена.

При уменьшении длины затвора L до 40 нм величина f_T достигла 155 ГГц. И это еще не предел ($f_T \sim 1/L$). Существенно, что f_T почти не изменяется при охлаждении от 300 К до 4.2 К. Это важно для использования ВЧ транзисторов на космических аппаратах. Для дальнейшего совершенствования таких транзисторов требуется уменьшить контактное сопротивление между электродами и каналом (сейчас оно на порядок больше, чем в кремниевых MOSFET'ах).

1. *Y.Wu et al., Nature* ***472****, 74 (2011).*

Еще один сюрприз от графена: нелокальные квантовые эффекты при комнатной температуре

Своими уникальными электронными и оптическими свойствами графен обязан специфической зонной структуре: зависимости энергий электронов и дырок от квазиимпульса имеют форму конусов, соприкасающихся в дираковской точке, называемой точкой нейтральности (рис.1, нижняя вставка).

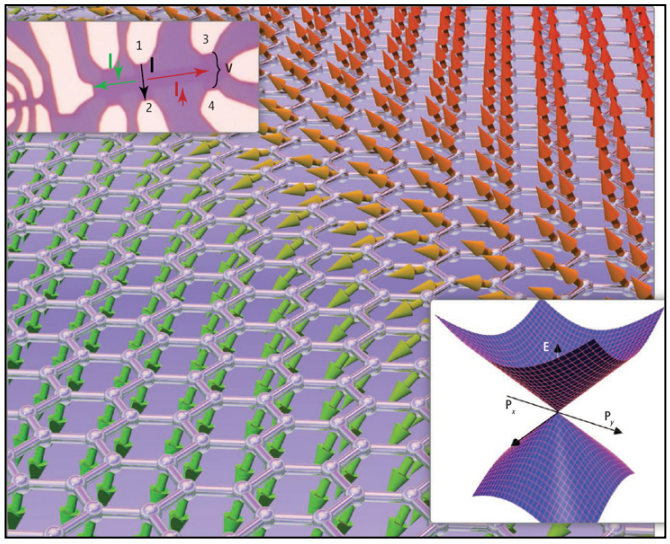


Рис. 1. "Расщепление" спинового тока приводит к возникновению в графене нелокального эффекта: при пропускании электрического тока между электродами 1 и 2 электрическое напряжение появляется на удаленных от них контактах 3 и 4 (верхняя вставка). На нижней вставке изображены законы дисперсии электронов и дырок в графене.

В работе [1] группы Гейма-Новоселова сообщается об обнаружении в графене нелокального квантового эффекта, заключающегося в возникновении электрического напряжения между электродами, которые удалены от токовых контактов на большое расстояние ~ 10 мкм (рис.1, верхняя вставка). Этот эффект имеет место в графене на различных подложках (SiO_2 и BN). Он не связан с квантовым эффектом Холла, поскольку наблюдается даже при слабых (0.1 Тл) магнитных полях и высокой (комнатной) температуре, то есть в неблагоприятных для сохранения когерентности условиях. Свои результаты авторы [1] объясняют тем, что зеемановское расщепление приводит к формированию по обе стороны точки нейтральности небольших карманов, заполненных электронами и дырками с противоположными спинами (рис. 2A). При наличии электрического тока I сила Лоренца имеет разные знаки для электронов и дырок, поэтому суммарный зарядовый ток в поперечном направлении равен нулю, тогда как спиновый – нет. Благодаря большой длине диффузии электронных спинов (в отличие от длины свободного пробега электронных зарядов) спиновый ток достигает удаленных контактов и генерирует в них напряжение за счет обратного спинового эффекта Холла (рис. 2B).

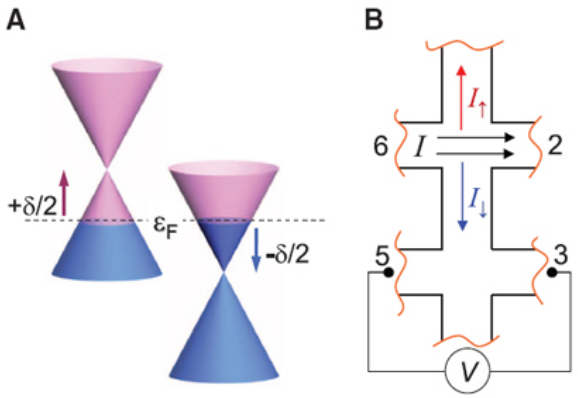


Рис. 2. A - Зеемановское расщепление в точке нейтральности. B - Поперечный спиновый ток возникает в магнитном поле вследствие действия силы Лоренца на электроны и дырки с разнонаправленными спинами и достигает потенциальных контактов, индуцируя в них электрическое напряжение.

Таким образом, мы имеем дело с весьма необычной ситуацией, когда спины электронов ведут себя когерентно (квантово-механически), а заряды тех же самых электронов – некогерентно (классически). Этот эффект должен учитываться при описании всех магнетотранспортных явлений, происходящих в графене вблизи точки нейтральности.

По материалам заметки
"Another Spin on Graphene",
A.H. Castro Neto, Science ***332****, 315 (2011).*

1. D.A.Abanin et al., Science ***332****, 328 (2011).*

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Гигантский эффект Керра в магнитоплазмонных кристаллах

Плазмоника – отрасль фотоники, которая позволяет сопрягать устройства интегральной оптики с наноразмерными элементами современных интегральных схем. За счет возбуждения на границе металла и диэлектрика поверхностных плазмон-поляритонов, достигается локализация электромагнитного поля оптической частоты на масштабах много меньших длины волны света. В совместной работе российских, германских и индийских ученых [1] сделан значительный прорыв в области *магнитоплазмоники*: путем нанесения периодической решетки из золота на поверхность феррита-граната иттрия (рис.1) магнитооптические эффекты в этом традиционном материале магнитооптики удается усилить в тысячу раз.

Идея такого эксперимента базируются на объединении двух эффектов, открытых в конце девятнадцатого - начале двадцатого веков:

Первый из них – магнитооптический эффект Керра, наблюдаемый обычно при отражении от поверхности намагниченного материала. При ориентации плоскости падения перпендикулярно намагниченности для его наблюдения можно даже обойтись без таких непременных атрибутов магнитооптических измерений, как поляризатор и анализатор: при переключении намагниченности в материале изменяется интенсивность отраженного света.

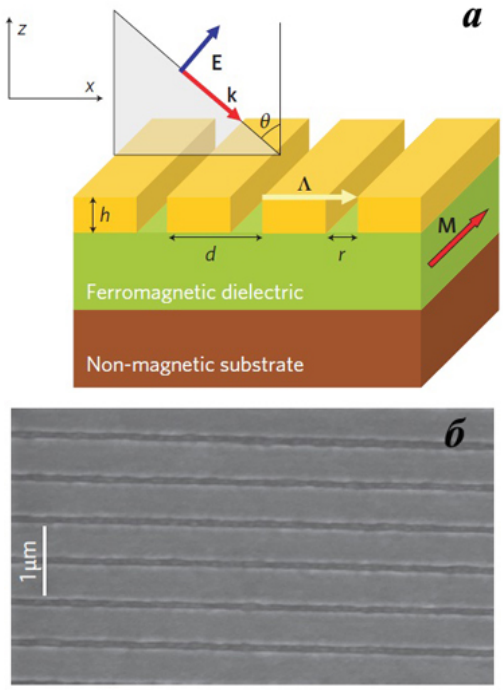


Рис. 1. Магнитоплазмонный кристалл: *а* - решетка из полосок золота с характерными размерами *d*=595нм, *r*=110нм, *h*=120нм, нанесенная на поверхность пленки железо-висмутового феррита-граната иттрия; *б* - изображение структуры в сканирующем электронном микроскопе [1].

Другое явление, наблюдавшееся впервые Р. Вудом – аномальные особенности спектра отражательной дифракционной решетки, которые не объясняются в рамках стандартной теории дифракционных решеток. Как позже было выяснено, аномалии Вуда бывают с резонансным возбуждением в решетке поверхностных плазмон-поляритонов.

В соответствии с предсказаниями теоретической работы [2], вблизи плазмонных резонансов, связанных с аномалиями Вуда, должны усиливаться магнитооптические эффекты. Приложение магнитного поля изменяет намагниченность пленки феррита граната и смещает частоту плазмонного резонанса, в результате чего значительно меняется интенсивность света, прошедшего через такую структуру. Относительное изменение интенсивности на три порядка превосходит величину магнитооптического эффекта Керра в том же кристалле без покрытия и составляет единицы (в перспективе - десятки) процентов.

Таким образом, золотая решетка на поверхности магнитооптического материала (по аналогии с фотоникой такую структуру называют магнитоплазмонным кристаллом) является прообразом устройств плазмоники с перестраиваемыми магнитным полем характеристиками.

А. Пятаков

1. *V.I.Belotelov et al., Nature Nanotech., advance online publ. (24 April 2011); http://www.nature.com/nnano/journal/vaop/ncurrent/abs/nnano.2011.54.html*
2. *V.I.Belotelov et al., Phys. Rev. Lett.* ***98****, 077401 (2007).*

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Наноматериалы и безопасность человека

На людей в той или иной степени постоянно воздействуют наноматериалы – как природные, так и возникшие в результате деятельности человека. Среди последних специально синтезированные пока составляют меньшую часть, но число их быстро растёт. Возможность вредных эффектов для здоровья волновала учёных задолго до открытия фуллеренов и других наноструктур, но исследования ограничивались, в основном, ультрамалыми частицами в воздухе. По мере развития нанотехнологий обсуждение научным сообществом этой проблемы становилось всё более активным, в результате чего возникла новая наука – нанотоксикология, изучающая воздействие созданных наноустройств и наноструктур на живой организм [1]. Были разработаны специальные регламенты и методологии оценки рисков, в том числе в России [2]. Для того чтобы определить риск, или степень опасности воздействия на человека, необходимо идентифицировать потенциальную опасность и оценить уровень внешнего воздействия.

В обширном обзоре немецких ученых (почти 200 ссылок) [3] обсуждается взаимодействие синтезированных наноматериалов с биологической средой. Авторы акцентируют внимание на наночастицах оксидов металлов (TiO_2, ZnO, ZrO_2, CeO_2, SiO_2 и функционализованный SiO_2) и на двух углеродных наноматериалах (многостенные углеродные нанотрубки МСНТ и технический углерод). Кроме литературных данных они приводят и свои новые результаты. Рассмотрены уровни воздействия и возможные пути попадания наночастиц в организм; биофизическая модификация поверхности наноматериала и агломерация в среде клеточных культур; токсичность *in vitro* (жизнестойкость клеток, генотоксичность, воспаление) и *in vivo*; ранжирование потенциальной опасности материалов (рис.1).

Рис. 1. Схема оценки риска при воздействии наноматериалов. Слева вверху: лабораторный синтез наноструктурных материалов. Слева внизу: нанокомпозиты в бытовых товарах (SiO_2-содержащий термопластик). Справа внизу: солнцезащитный крем, содержащий наночастицы.
* Необходимы технические меры защиты
** Требуется контролировать поступление в организм и возможный вред.

Обсуждая воздействие наноматериалов, авторы [3] выделяют 4 главных вопроса:

1) *Наночастицы входят в состав нанокомпозита, или это порошок?* Контакт с нанокомпозитом гораздо безопаснее, чем контакт с порошком. Тем не менее, и из композитных материалов может выделяться небольшое количество наночастиц. Например, в ПерсТе недавно сообщалось о том, что Ag-наночастицы, входящие в состав антимикробных текстильных изделий, могут попасть в пот человека, а значит, через кожу в организм [4].

2) *Как поведут себя в организме свободные наночастицы – "растворятся" в биологической жидкости или же проявят биостойкость?* Самый распространенный природный биостойкий наноматериал – сажевые частицы, или так называемый "чёрный углерод" – (***black carbon, BC***), который в основном образуется при неполном сгорании биомассы (от 50 до 270 мегатонн в год) и переносится в аэрозолях на большие расстояния, загрязняя атмосферный воздух даже в Арктике. Многие из нас близко познакомились с этим "чёрным углеродом" во время пожаров летом 2010 года… Кроме того, наноматериалы образуются как побочные продукты при сварке, плавке, термообработке полимеров, а также от двигателей внутреннего сгорания, электростанций, при курении и др. Некоторый вклад даёт и производство технического углерода (***carbon black, CB***), который используют для изготовления шин, красок и т.д. Обычно он служит контрольным образцом при тестировании безопасности наноматериалов.

3) *Воздействие наноматериалов на человека случайное или специальное?* Пока примеров преднамеренного воздействия на организм немного. Один из них – солнцезащитный крем (рис. 1). В основном наноматериалы используются в композитах, и можно говорить только о случайном воздействии.

4) *Как наноматериалы попадают в организм – при глотании, вдыхании или через кожу?*

По мнению немецких ученых, основной путь – вдыхание. Наибольшую опасность представляет профессиональное воздействие биостойких наночастиц, поэтому на рабочих местах необходимо применять технические меры защиты (рис. 1). Обычные бытовые товары характеризуются низким уровнем воздействия и низкой опасностью. Как уже говорилось, исключение представляют некоторые косметические товары с высоким уровнем воздействия. При их использовании необходимо контролировать поступление в организм и изучать возможный вред для здоровья.

Для того, чтобы правильно оценить токсичность, необходимо тщательно разобраться в "нано"-эффектах на системном и клеточном уровне. Взаимодействие наноматериалов с живыми клетками и биологическими жидкостями очень сложное. Авторы [3] представили упрощенную схему (рис. 2).

Как показано на схеме, наночастицы могут попасть в организм при деградации нанокомпозита (из его объема или с поверхности) как "пыль" порошка - в виде аэрозолей или суспензии. Затем происходят очень важные изменения. В биологической жидкости (крови, лимфе, жидкости оболочки легкого и др.) поверхность наночастиц модифицируется – покрывается так называемой "белковой короной"- слоем адсорбированных белков. Эта "корона" во многом определяет дальнейшую судьбу наночастиц, их агломерацию, распределение в тканях, вывод из организма. К сожалению, в настоящее время большинство результатов получено для полимерных частиц в сыворотке крови. Немецкие исследователи [3] подчёркивают необходимость изучения "короны" для оксидов металлов и нанотрубок при их взаимодействии с жидкостью оболочки легкого, куда они попадают после вдыхания. Важный вывод – в экспери-

ментах *in vitro* буферные растворы должны быть как можно ближе к биологическим жидкостям живого организма, чтобы воспроизвести реальные "корону" и агломерацию.

Наноматериал	Порошок В матрице На поверхности
Дисперсия	Аэрозоль. Суспензия
Поглощение в организме	Отложение в легких, проникновение в альвеолы, кожу, кишечник
Модификация в организме	Изменение поверхности Агломерация / деагломерация
Распределение в организме	Проникновение через барьеры, распределение в тканях
Первичный эффект	Воспаление, образование активных форм, взаимодействие с клетками
Токсичность	Токсическое поражение органов, генотоксичность

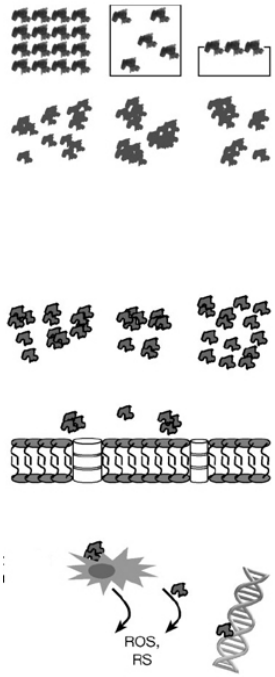


Рис. 2. Взаимодействие наноматериала с биологической средой [3]. ROS – активные формы кислорода, RS – другие активные формы, (например ионы металлов).

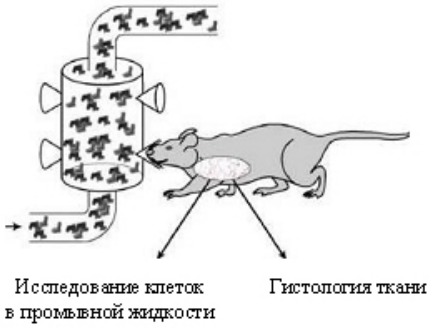


Рис.3 Схема исследований [3].

Ингаляционные исследования на крысах, по мнению авторов, являются наилучшей аппроксимацией воздействия наноматериалов на дыхательные пути человека. К сожалению, при этом приходится жертвовать животными, эксперименты длительные и дорогие. Немецкие учёные разработали ускоренный тест. Свои исследования для 6 оксидов металлов и двух углеродных материалов они проводили по схеме (рис. 3). Животные (14 крыс) вдыхали аэрозоли, полученные из наноматериалов, по 6 часов в день в течение 5 дней. Затем учёные проводили гистологию ткани лёгкого и исследования крови и бронхоальвеолярной промывной жидкости. Все данные получены в одинаковых условиях, поэтому можно провести достоверное сравнение.

Некоторые из исследованных материалов оказались токсичными, другие (SiO_2, ZrO_2, CB) не вызвали никаких изменений даже при высокой концентрации аэрозолей. По убыванию токсичности наноматериалы расположились так: МСНТ >> CeO_2, ZnO > TiO_2 > SiO_2, ZrO_2, CB.

Один из важных выводов исследователей – при определении риска для человека недостаточно охарактеризовать исходный наноматериал. Необходима дополнительная информация о модификации поверхности и агломерации в конкретной биологической среде. Эти два свойства определяют биокинетику, биораспределение и выделение наноматериалов из организма. Изучение биофизических свойств позволит улучшить стратегию тестирования и обеспечить производство безопасных для человека наноматериалов.

О.Алексеева

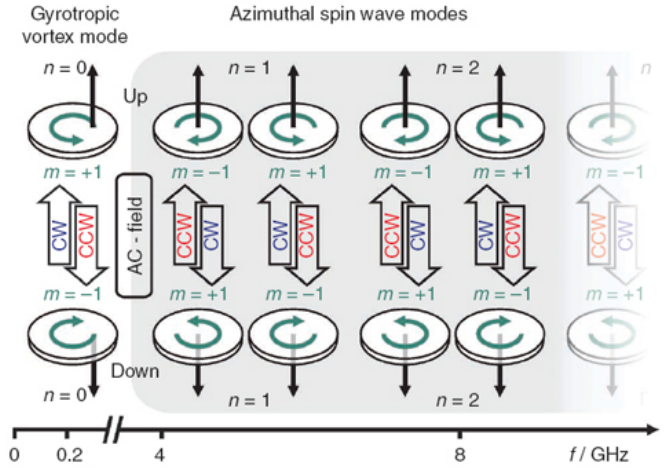
1. *ПерсТ* ***14****, вып.19, с.2 (2007).*
2. *ПерсТ* ***15****, вып.4, с.4 (2008).*
3. *R. Landsiedel et al., Adv. Mater.* ***22****, 2601 (2010).*
4. *ПерсТ* ***17****, вып.21, с.4 (2010).*

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Перемагничивание ядра магнитного вихря возбужденными спиновыми волнами

Магнитные вихри в тонких пленочных дисках микронного диаметра характеризуются замкнутым магнитным потоком в плоскости плёнки, минимизирующим дипольную энергию. В центре вихря имеется кор, намагниченный перпендикулярно пленке с двумя возможными направлениями поляризации (вверх "+" или вниз "-"). Гиротропное движение вихря характеризуется частотами ~ 0.1 ГГц. Динамическое обращение намагниченности кора на противоположную может быть достигнуто

пульсирующим или переменным магнитным полем, а также спин-поляризованным током [1]. Процесс перемагничивания сопровождается рождением и последующей аннигиляцией пары вихрь-антивихрь. Переполяризация кора позволяет использовать магнитные вихри как биты памяти, а также для устройств спинтроники. Однако для увеличения быстродействия желательно перейти на большие частоты. Расчеты украинских физиков [2] показали, что взаимодействие спиновой волны, возбужденной внутри кора, с вихрем может приводить к обращению ядра на частотах ~ 1 ГГц. В недавней работе [3] группа немецких и бельгийских исследователей экспериментально подтвердила такой процесс переключения и обнаружила, что одновременно возбуждается не одна, а несколько спиновых волн. Различные типы мод и их характерные частоты показаны на рисунке. Перемагничивание кора возможно только тогда, когда направления вращения вихря и внешнего поля совпадают и направлены либо по часовой стрелке (CW) или против нее (CCW). Достигнуты частоты переключения ~ 10 ГГц, что открывает новые пути в спинтронике.



Исследовались диски из пермаллоя диаметром 1.6 мкм, толщиной 50 нм. Перпендикулярная к плоскости намагниченность кора регистрировалась методом сканирующей просвечивающей рентгеновской микроскопии, использующей XMCD, на станции MAXIMUS на синхротроне BESSY 2 в Берлине. Пространственное разрешение микроскопа (25 нм) оказалось достаточным для визуализации кора и его перемагничивания.

С. Овчинников

1. *K.Yamada et al., Nature Mater.* ***6****, 269 (2007).*
2. *V.Kravchuk et al., J. Appl. Phys.* ***102****, 043908 (2007).*
3. *M.Kammerer et al., Nature Commun.* ***2****, 279 (2011).*

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Синтез однослойных углеродных нанотрубок с узким распределением по диаметрам

Благодаря удачному сочетанию электронных характеристик, высокой механической прочности, а также химической и термической стабильности углеродные нанотрубки (УНТ) рассматриваются в качестве элементов будущей наноэлектроники. Однако для реализации огромного прикладного потенциала, заложенного в этих системах, необходимо научиться получать УНТ, имеющие заданную структуру (диаметр, длина, хиральность), определяющую их электронные характеристики. Между тем стандартные подходы к синтезу УНТ позволяют получать нанотрубки, параметры которых распределены в весьма широких пределах. Поэтому для использования в микроэлектронике необходимо выполнить весьма дорогостоящую и не всегда эффективную процедуру их разделения по характеристикам. Более эффективным подходом к решению задачи получения УНТ с заданными параметрами представляется поиск условий синтеза, способствующих синтезу УНТ с узким распределением по структурным параметрам.

Эффективность такого подхода была продемонстрирована недавно группой исследователей из Nagoya Univ. (Япония) [1]. Однослойные УНТ были выращены на Si/SiO_2 подложке с использованием этилового спирта в качестве углеродосодержащего вещества. Подложку методом электродугового напыления покрывали слоем Co толщиной 0.09 нм, который служил катализатором процесса синтеза УНТ. Последующий отжиг подложки при остаточном давлении $5\cdot10^{-5}$ Па и температуре 660°C приводил к образованию частиц катализатора диаметром 0.305±0.029 нм с поверхностной плотностью $1.25\cdot10^{11}$ см$^{-2}$. Затем через камеру в течение от 1 до 25 мин пропускали пары спирта при давлении 5.4 Па и скорости 5.4 см^3/мин.

Исследования полученных образцов методами комбинационного рассеяния (КР) и сканирующей электронной микроскопии показали, что уже в течение 7 мин образуются однослойные УНТ длиной в десятые доли микрона. Отмечается, что рост УНТ сопровождается их окислением кислородом, выделяющимся при термолизе спирта на поверхности частиц катализатора. Однако в первые минуты синтеза скорость роста УНТ превосходит скорость их окисления с последующим испарением продуктов окисления. Оптимальное время роста составило 7 мин. Спектроскопия КР показала, что УНТ характеризуются распределением диаметров в диапазоне между 0.79 и 1.07 нм. Столь малый диаметр УНТ и его узкое распределение, по мнению авторов, стали возможными благодаря относительно низкой температуры синтеза и малому среднему размеру частиц катализатора.

А. Елецкий

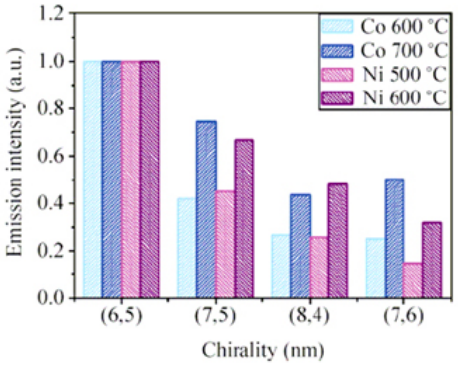
1. S.Ishii et al., Jap. J. Appl. Phys. ***50****, 015102 (2011).*

Синтез однослойных нанотрубок при пониженных температурах

От успешного решения проблемы синтеза углеродных нанотрубок (УНТ) с заданными характеристи-

ками в макроскопических количествах зависит возможность развития нанотехнологий, основанных на использовании этого материала. Оптимальный подход к решению этой проблемы состоит в нахождении условий роста УНТ с возможно более узким распределением по диаметрам. Такой подход существенно проще методов синтеза, включающих в себя дорогостоящую и весьма длительную процедуру разделения УНТ по диаметрам и другим характеристикам. В работе [1] группа исследователей из университетов Финляндии совместно с сотрудниками ИОФ РАН им. А.М. Прохорова проводили синтез однослойных УНТ при относительно низких температурах, что способствует сопряжению процедуры синтеза со стандартными технологиями производства полупроводниковых материалов. В качестве подложки служила поверхность SiO_2, на которую методом послойного атомного осаждения с использованием в качестве прекурсора ацетилацетоната никеля наносили пленку Ni. Перед проведением процедуры осаждения SiO_2 подложку в течение 4 ч выдерживали при температуре 400°C с целью удаления следов воды. Осаждение проводили в течение 6 ч при 200°C, после чего образец подвергали термообработке при 450°C с целью удаления остатков реагента. Синтез УНТ проводили методом CVD в течение 10 мин в диапазоне температур от 450°C до 800°C. В качестве источника углерода использовали CO, который пропускали через реактор со скоростью 50 $см^3$/мин. По окончании синтеза систему продували аргоном и плавно охлаждали до комнатной температуры.

Полученные образцы УНТ исследовали методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния (КР), оптической спектроскопии поглощения в УФ, видимой и ближней ИК областях спектра, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, а также фотолюминесцентной спектроскопии. Измерения показали, что даже при столь низкой температуре синтеза, как 600°C, достигается весьма высокое качество УНТ, которое стандартным образом характеризуется отношением интенсивностей пиков G и D в спектре КР. Дальнейшее снижение температуры синтеза сопровождается заметным ухудшением качества образцов. Как следует из анализа длинноволновой части спектра КР, диаметр УНТ близок к 0.8 нм, что соответствует индексам хиральности (7.5) и (8.3). С увеличением температуры роста средний диаметр синтезированных УНТ увеличивается, достигая 1.2–1.7 нм при температуре синтеза 800°C. Этот вывод подтверждают результаты измерений спектра фотолюминесценции образцов.



На рисунке представлено распределение УНТ, синтезированных при различных температурах с использованием различных катализаторов, по диаметрам и индексам хиральности. Данные для катализатора на основе Co получены теми же авторами при использовании той же экспериментальной установки. Как видно, при использовании никелевого катализатора доля более крупных УНТ ниже, чем в случае Co, причем эта доля уменьшается по мере снижения температуры синтеза.

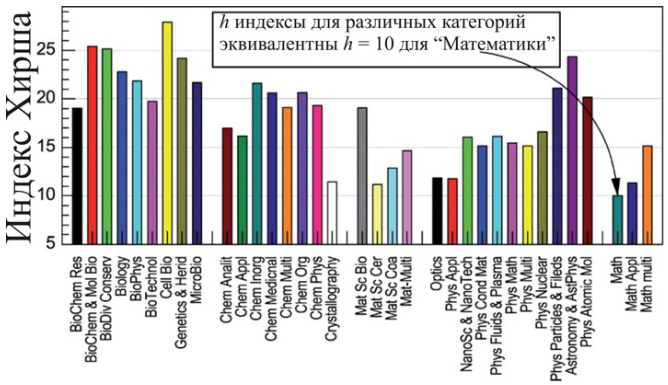
А. Елецкий

1. M.He et al., Nano Res. ***4****, 334 (2011).*

ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

И снова о Хирше…

Одним из существенных недостатков повсеместно используемого наукометрического показателя – индекса Хирша или *h*-индекса[1] [1] часто называют сильную зависимость последнего от области исследований. Например, индекс Хирша в таких дисциплинах, как биохимия или медицина традиционно существенно выше, чем в математике. Таким образом, адекватная оценка и сравнение продуктивности возможны лишь для ученых, работающих в рамках одной выделенной или смежных научных областях. В работе [2] предлагается простая нормировка, которая позволит грамотно сопоставить достижения исследователей независимо от их научных пристрастий. В поле зрения автора попали тридцать пять категорий, среди которых биология, биофизика, аналитическая химия, органическая химия, кристаллография, химическая физика, физика твердого тела, ядерная физика, астрономия, прикладная математика… Для каждой из рассматриваемых категорий вводится поправочный коэффициент вида $(R_{mean} / Rpp(i)) - 1$, где R_{mean} – среднее число ссылок в расчете на одну публикацию для всех категорий с учетом количества опубликованных статей в каждой из категорий, а $Rpp(i)$ – среднее число ссылок в статье из заданной *i*-ой категории. Согласно данным Journal Citation Report $R_{mean} = 32.8$, а Rpp лежит в диапазоне от 18.5 до 51.6. С помощью введенных таким образом поправок для всех рассматриваемых категорий в работе [2] были получены “эквивалентные *h*-индексы” (они изображены на рисунке).



Эквивалентные индексы Хирша для 35 различных категорий (научных областей).

---

[1]Напомним определение индекса Хирша: исследователь имеет индекс h, если h из его N_p статей цитируются как минимум h раз каждая, в то время как оставшиеся (N_p–h) статей цитируются не более чем h раз каждая [1].

Так, например, оказалось, что h = 10 для "Математики" эквивалентен h = 28 для "Клеточной биологии", а h = 24 для "Астрономии и Астрофизики" эквивалентен h = 12 для "Прикладной физики".

Полученные результаты значительно расширяют уже ставшее привычным понимание индекса Хирша, позволяя сопоставлять научные достижения ученых в различных областях знаний. И хотя предложенная в работе [2] нормировка не устраняет всех недостатков h-индекса (например, учет самоцитирования или очередности авторства), тем не менее, она, безусловно, окажется полезным инструментом в руках аналитика.

М. Маслов

1. *J. Hirsch, Proc. Natl. Acad. Sci. USA* ***102****, 16569 (2005).*
2. *A. de Andrés, Europhysics News* ***42****, 29 (2011).*

КОНФЕРЕНЦИИ

II Московские чтения по проблемам прочности, посвященные 80-летию со дня рождения академика РАН Ю.А. Осипьяна, 10-14 октября 2011 г., Черноголовка, Россия

Тематика:

- Физика дислокаций и процессов пластического деформирования и разрушения твердого тела.
- Влияние дефектной структуры на физико-механические свойства кристаллов.
- Новые перспективные наноструктурные и композиционные материалы и интерметаллиды. Аморфное состояние вещества.
- Инженерия дефектов в полупроводниках. Физика гетероструктур на основе суперионных полупроводников. Электронные свойства фуллеренов.
- Влияние внешних электромагнитных воздействий на пластические свойства кристаллов: фото-, электро- и магнитопластичность.

Возможно расширение тематики в рамках общего направления.

Сроки и даты

Представление текстов докладов: ***до 1 июля 2011 г.***
Предоставление статей: ***до 10 октября 2011 г.***

Web: *http://www.crys.ras.ru/~strength/*

Семинар по магнетизму

17 мая 2011 г. (17-00), конференц-зал ИФП им. П.Л. Капицы РАН, ул. Косыгина, 2

В.Е.Дмитриенко (Институт кристаллографии РАН), Е.Н.Овчинникова (физфак МГУ), J.Kokubun, K.Ishida (Science University of Tokyo) "Как измерить знак взаимодействия Дзялошинского-Мория в слабых ферромагнетиках"

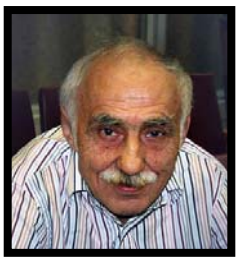
Семинар по физике конденсированного состояния, 18 мая 2011 г. (17.00), (многофункциональный зал библиотеки физического факультета МГУ, 5 этаж)

Е.Б. Гордон (Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка) "Каталитическое образование нанопроволок в квантованных вихрях сверхтекучего гелия"

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

Для расширения возможностей участия в семинаре предполагается обеспечить прямую онлайн трансляцию заседания через сайт *http://nano.msu.ru/video.php*
Дополнительная информация:
тел. +7(495)939-1151
E-mail: *khokhlov@mig.phys.msu.ru*

Памяти Е.Г. Максимова



30 апреля 2011 г. оборвалась жизнь выдающегося физика-теоретика, члена-корреспондента РАН, заведующего сектором теории сверхпроводимости ФИАН Евгения Григорьевича Максимова (или просто Жени, как без тени фамильярности звали его все – от мала до велика). В расцвете творческих сил ушел из жизни человек, который внес очень весомый вклад в теорию сверхпроводимости и во многие другие области физики конденсированного состояния.

Научная жизнь Е.Г. Максимова прошла в ФИАНе, куда он в 1963 г. поступил в аспирантуру к другому замечательному физику – Д.А. Киржницу. Прекрасная научная школа, традиции теоротдела и собственные незаурядные способности обеспечили

Е.Г. Максимову заслуженный авторитет и широкую известность. Он был активным участником созданного В.Л. Гинзбургом и Д.А. Киржницем коллектива, подготовившего задолго до открытия сверхпроводящих купратов уникальную монографию “Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости” (М.: 1977). Значительная часть работ Е.Г. Максимова была в той или иной мере посвящена сверхпроводникам: их описанию на языке диэлектрических функций отклика, эффектам ангармонизма, роли примесей и дефектов в обычных и высокотемпературных сверхпроводниках. Изучение динамических функций рассеяния ионов, различных аспектов электрон-фононного взаимодействия, теория мягких мод, физика ионных кристаллов и сегнетоэлектриков – это лишь некоторые из развивавшихся Е.Г. Максимовым направлений теории конденсированных сред. Им создана в ФИАНе группа вычислительной физики, целью которой стали численные расчеты из первых принципов электронных и решеточных характеристик кристаллов, а также их термодинамики и кинетики. Благодаря постоянному стремлению Е.Г. Максимова с помощью численных расчетов докопаться до самой сути изучаемых явлений, работы этой группы получили широкое признание мирового физического сообщества.

Е.Г. Максимов всегда был активным и ярким участником дискуссий на семинарах и конференциях, задающим тон бескомпромиссного и принципиального поиска научных истин. Он часто эмоционально и заинтересованно выступал на различных форумах и собраниях, где обсуждались пути развития науки и её будущее. Всем нам будет не хватать этого темпераментного, талантливого и широко эрудированного человека. Скучно жить на свете без таких людей, как Женя.

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, А.Елецкий, М.Маслов,
С.Овчинников, Л.Опенов, А.Пятаков
Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова
Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64[a]