

В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### Фазовое расслоение в сверхпроводящем селениде железа

Открытые два года назад [1] сверхпроводящие селениды железа с критическими температурами до 32 К отличаются от других безмедных ВТСП наличием антиферромагнитных диэлектрических фаз, очень высокими температурами Нееля и упорядочением вакансий Fe. Для выяснения взаимосвязи сверхпроводимости со структурой и магнитными свойствами китайские физики измерили локальные СТМ-спектры тонких пленок  $K_xFe_{2-y}Se_2$  [2]. Эксперименты проводили *in situ* в камере установки для молекулярно-лучевой эпитаксии, в условиях сверхглубокого вакуума. Обнаружено расслоение на стехиометрическую сверхпроводящую фазу  $KFe_2Se_2$  (рис. 1) и диэлектрическую фазу с  $y = 0.4$ , в которой вакансии Fe упорядочены (рис. 2).

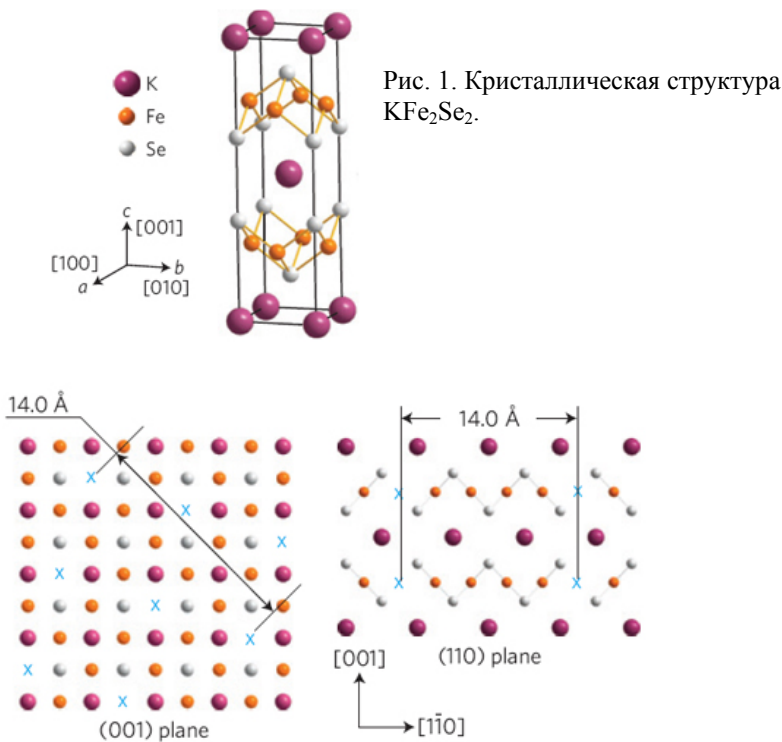


Рис. 2. Упорядочение вакансий Fe.

Вакансии играют роль магнитных примесей: рассеяние на них приводит к перевороту электронных спинов, что влечет за собой разрыв куперовских пар. В подсистеме вакансий наблюдается магнитный порядок.

1. J.Guo et al., *Phys. Rev. B* **82**, 180520 (2010).
2. W.Li et al., *Nature Phys.* **8**, 126 (2012).

Л.Опенев

И далее ...

### КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 2 Декогерентизация спиновых кубитов в сверхчистом кремнии

### ГРАФЕН

Сверхпроводящий графен?

Цвет графена

- 3 Графен-графитовая электроника

### НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Коррелированные электроны на границах раздела оксидов

- 4 Нанотехнологии и продукты питания

### ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 6 Платина на нанотрубке: электронные свойства и каталитическая активность

Пленка из углеродных нанотрубок защищает от электромагнитного излучения

### ОБЗОРЫ

- 7 Электроника на доменных границах

### КОНФЕРЕНЦИИ

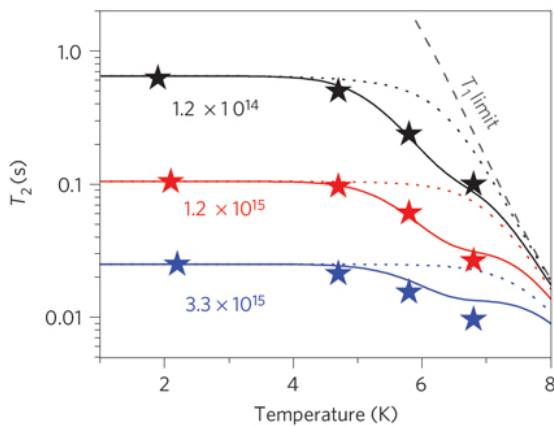
- 8 Advanced research workshop "Meso-2012", Mesoscopic and strongly correlated electron systems – 6, Non-equilibrium and coherent phenomena at nanoscale, June 17-23, 2012, Chernogolovka, Russia

International Conference on Phase Separation and Superstripes in High Temperature Superconductors and Related Materials, July 11 - 17, 2012, Erice, Italy

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### Декогерентизация спиновых кубитов в сверхчистом кремнии

Для того чтобы спиновые состояния донорных электронов в кремнии ( $\uparrow$  и  $\downarrow$ ) можно было использовать в качестве базисных состояний квантовых битов (кубитов), время сохранения когерентной суперпозиции  $\uparrow$  и  $\downarrow$  (время декогерентизации)  $T_2$  должно быть как можно больше. Максимальные величины  $T_2$ , приводимые в литературе, порядка 10 мс. При этом декогерентизация происходит из-за взаимодействия электронных спинов с ядерными спинами изотопов  $^{29}\text{Si}$ , концентрация которых в природном кремнии  $^{28}\text{Si}$  составляет 4.7%. В работе [1] (Япония, Великобритания, Германия, США, Канада) показано, что в изотопически чистом  $^{28}\text{Si}$  с содержанием  $^{29}\text{Si}$  менее 50 ppm (50 атомов  $^{29}\text{Si}$  на миллион атомов  $^{28}\text{Si}$ ) величина  $T_2$  для спинов донорных примесей фосфора при низких температурах оказывается порядка 1с. Уменьшение концентрации доноров ведет к росту  $T_2$  (см. рис.), поскольку в отсутствие ядерных спинов основным механизмом декогерентизации становится взаимодействие с электронными спинами других доноров.



Температурные зависимости времени декогерентизации спиновых кубитов  $T_2$  в изотопически чистом кремнии. Числа у кривых – количество донорных атомов фосфора в  $1 \text{ см}^3$ .

Максимальная величина  $T_2$  в [1] составила  $\sim 2$  с. По оценкам авторов,  $T_2$  при  $T = 1.8$  К можно, в принципе, довести до  $\sim 10$  с. Но все это – если спины находятся в объеме образца. Для практических же целей нужно разобраться с декогерентизацией спинов при поверхностных донорах, внедренных в кремний путем имплантации. Поверхностные эффекты могут привести к существенному уменьшению  $T_2$ .

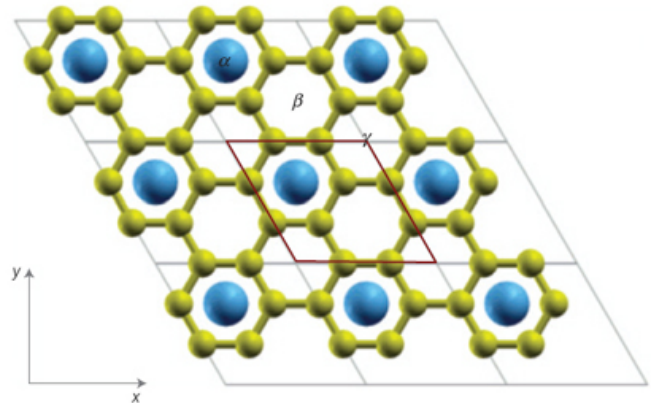
1. A.M.Tyryshkin et al., *Nature Mater.* **11**, 143 (2012).

## ГРАФЕН

### Сверхпроводящий графен?

Помимо предполагаемого практического использования в нанoeлектронике, графен представляет собой уникальную “площадку” для наблюдения ряда фундаментальных физических явлений, таких как квантовый эффект Холла, парадокс Клейна, неус-

тойчивость Померанчука и пр. Вот только сверхпроводимости в этом перечне нет. Пробел отчасти восполняют теоретические работы [1, 2], в которых предсказано, что допирование графена должно приводить к его переходу в сверхпроводящее состояние. В статье [1] обсуждается нефононный механизм спаривания за счет слабого электрон-электронного отталкивания, приводящего к  $d$ -спариванию спирального типа, при котором фаза параметра порядка поворачивается на  $4\pi$  при обходе поверхности Ферми. Авторы же работы [2] рассматривают обычный фоновый механизм спаривания в  $s$ -канале. Теория Элиашберга вкуче с расчетами электронных и фоновых спектров из первых принципов дает для критической температуры  $T_c$  монослоя  $\text{LiC}_6$  (см. рис.) величину около 8 К [2]. В работе [1] оценка  $T_c$  не приведена.



Структура графена, покрытого слоем лития. Маленькие (желтые) и большие (синие) шариком – атомы углерода и лития, соответственно.

По материалам заметки O.Vafer, “Carbon’s superconducting footprint”, *Nature Phys.* **8**, 111 (2012).

1. R.Nandkishore et al., *Nature Phys.* **8**, 158 (2012).
2. G.Profeta et al., *Nature Phys.* **8**, 131 (2012).

### Цвет графена

Развитие направлений, связанных с получением, исследованием и прикладным использованием графена, требует разработки методов определения поперечных размеров образца графена, а также его толщины, которая, в свою очередь, определяется числом графеновых слоев. Существующие методы решения этой задачи, основанные на использовании атомного силового микроскопа или микрорамановской спектроскопии, весьма сложны и требуют значительного времени. Более удобным представляется использование оптических методов, основанных на зависимости спектральных характеристик графеновой пленки от ее толщины, а также от типа и толщины подложки. Такой подход был использован, в частности, в пионерских работах А.Гейма и К.Новоселова, удостоенных Нобелевской премии по физике за 2010 г. Недавно группой исследователей из Kyung Hee Univ. (Южная Корея) при участии одного из ведущих специалистов в области наноуг-

леродных материалов R.S. Ruoff из Univ. of Texas at Austin (США) была разработана детальная теория, описывающая указанные зависимости, исходя из принципов современных представлений оптики тонких пленок [1]. На основе этой теории получены аналитические выражения для коэффициентов отражения и пропускания оптического излучения, падающего на однослойную или многослойную пленку графена или оксида графена, находящуюся на диэлектрической подложке.

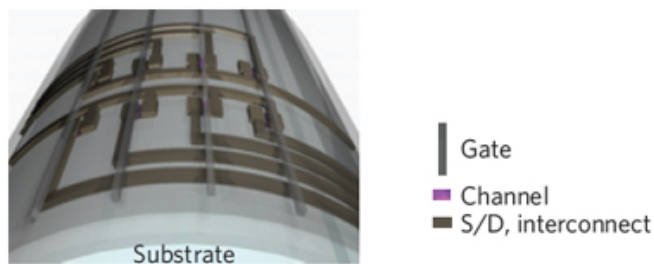
Результаты расчетов, выполненных с помощью вычислений, показывают, что цвет пленки зависит как от типа и толщины подложки, так и от числа графеновых слоев. Так, в случае подложки  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$  толщиной 72 нм цвет пленки оксида графена плавно изменяется от темно-синего до светло-голубого по мере увеличения числа слоев от 1 до 10. В случае подложки  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  толщиной 270 нм цвет пленки изменяется от светло-коричневого до темно-синего. Наряду с этим отмечается зависимость цвета изображения пленки от угла падающего излучения, а также от его интенсивности. Полученные зависимости подтверждаются результатами измерений, выполненных с пленками графена и оксида графена различной толщины. Таким образом, установленные закономерности могут быть использованы в качестве основы для визуального определения числа слоев в графеновой или оксид-графеновой пленке посредством анализа микрофотографий.

*А.Елецкий*

*I. Jung et al., Nanotechnology 23, 025708 (2012).*

### Графен-графитовая электроника

Одна из основных задач, стоящих сейчас перед “графеновой электроникой”, заключается в разработке эффективной технологии интеграции графеновых элементов в электронные устройства. Оригинальный подход к этой проблеме предложен в работе [1] (Корея, США). Он основан на том, что для роста графена и графита требуются различные металлические катализаторы. Поэтому, нанося на подложку требуемый узор из соответствующих металлов и осаждая на них углерод, можно получить монолитные интегральные графен-графитовые схемы (например, систему полевых транзисторов с графеновыми каналами и графитовыми электродами, см. рис.).



Схематическое изображение гибкой полупрозрачной сетки графен-графитовых транзисторов.

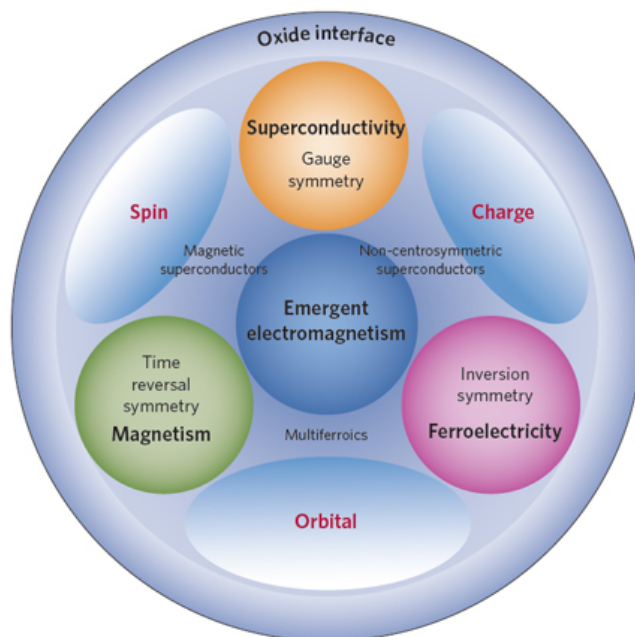
Число слоев в графене и графите при этом контролируется путем изменения химического состава катализаторов. Типичные величины длины и ширины каналов транзисторов составили 4 и 1 мкм, соответственно, то есть речь идет не о нано-, а о микроэлектронике. Тем не менее, новая технология может найти свою нишу в графеновой электронике и использоваться, например, для изготовления слоистых 3D микросхем, имплантируемых биосенсоров и пр.

*I. J.-U. Park et al., Nature Mater. 11, 120 (2012).*

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

### Коррелированные электроны на границах раздела оксидов

Поскольку магнитные и электронные свойства оксидов переходных металлов (transition metal oxides, TMOs) определяются подсистемой сильно коррелированных *d*-электронов, остающихся на атомах металлов после перехода валентных *s*-электронов на ионы кислорода, TMOs как нельзя лучше подходят для изучения электронных корреляций и сопутствующих им эффектов. Так как понижение размерности системы ведет к усилению корреляций, то особый интерес представляют границы раздела между TMOs. В работе [1] представлен обзор разнообразных явлений, наблюдающихся на этих границах, включая реконструкцию зарядовых, спиновых и орбитальных состояний на нанометровом масштабе, сверхпроводимость, магнитоэлектрическое взаимодействие, квантовый эффект Холла и др. Перспективы использования TMOs в спинтронике, “релятивистской электронике”, квантовой информатике, устройствах памяти и пр. обусловлены, в частности, возможностью контроля электронных и магнитных характеристик границ раздела TMOs внешним электрическим и/или магнитным полем.



Границы раздела TMOs можно попытаться использовать и для фундаментальных исследований тако-



го экзотического явления как квантовый спиновый эффект Холла, а также для анализа нетривиальной топологической структуры волновых функций в топологических диэлектриках.

I. H.Y.Hwang et al., *Nature Mater.* 11, 103 (2012).

### **Нанотехнологии и продукты питания**

Эффектный бренд “нано” довольно часто появляется в названиях новых товаров, которые не имеют к нему никакого отношения – “iPod Nano”, “Tata-Nano”, Андромеда “NANO” (противоугонное устройство), даже “Нано-Финанс” и “Нано-кредит”. Иногда о наличии наноматериалов в своей продукции гордо заявляют фирмы, выпускающие бытовые товары и косметические средства. Однако это вызывает неоднозначную реакцию потребителей и опасения учёных и работников здравоохранения. На отношение общества к нанотехнологиям влияют разные факторы, в том числе, конечно, большую роль играют средства массовой информации (см., в частности, ПерсТ [1]). Считается, что именно средства массовой информации вызвали в некоторых странах (особенно в Европе) рост недоверия к продуктам, содержащим ГМО – генетически модифицированные организмы.



Возможно, опасаясь такой же реакции, фирмы, использующие в производстве пищевых продуктов нанотехнологии (наноматериалы), не спешат уведомлять об этом своих потребителей, и мы не видим на прилавках таблички “содержит нано”. Но такое поведение как раз может настроить общество против нанотехнологий, полезных на всех этапах производства продуктов питания [2]. В сельском хозяйстве, например, можно повысить эффективность удобрений, пестицидов, используя нанокapsулы; в животноводстве – улучшить корма, применяя нанодобавки. Непосредственно в пищевом производстве можно снизить количество жиров, добавляя наноструктурированные ингредиенты. Нанупаковка, улучшающая хранение продуктов, уже производится. Можно привести и другие примеры – очистка питьевой воды, наносенсоры. Т. Дунсан в своей статье [2] подчёркивает, насколько важно уже сейчас изучить ключевые факторы, определяющие признание “нанопродовольствия” в будущем. Достоверной информации о соотношении риск/польза

будет недостаточно, ведь отношение людей к “нано” пищевым продуктам имеет свою специфику. Предполагаемое вредное вещество попадает непосредственно в желудок... К тому же, когда речь идёт о еде, для многих очень важно, чтобы она была натуральной. Хотя понятие, точнее ощущение натуральности зависит от разных факторов (в том числе культурных, религиозных, национальных традиций и особенностей), всё же вполне вероятно, что для самых разных покупателей наличие наночастиц в продукте (или применение нанотехнологий в процессе его производства) будет восприниматься как ненатуральность. По-видимому, проще будет внедрять упаковку – она всегда была, как правило, ненатуральная.

Правительственные и неправительственные организации разных стран активно включились в обсуждение проблем нанопродовольствия. Постоянный комитет по науке и технике в Палате лордов британского парламента подверг критике пищевую промышленность за утаивание информации и предложил создать открытый список всех продуктов и упаковок, в производстве которых используются нанотехнологии [3]. В Российской Федерации разработаны и в июне 2011 г. утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г.Онищенко методические рекомендации “Контроль наноматериалов в пищевой продукции”. В них сказано, что для пищевых продуктов, произведённых с использованием нанотехнологий и содержащих наночастицы или наноматериалы, на этикетку *рекомендуется* выносить информацию “*произведено с использованием нанотехнологий (наноматериалов)*” или “*содержит наноматериалы*”. К сожалению, это не означает, что рекомендации будут выполнены – как и в случае с ГМО. Несмотря на бурные дебаты, ни вред, ни безопасность ГМО не доказаны. Некоторые учёные (в том числе и российские) продолжают считать, что использование ГМО в продуктах питания – “негласный эксперимент над человечеством”. Чтобы такого не произошло с нанотехнологиями, необходимо открыто обсуждать новые разработки до их внедрения на рынок. Взаимодействие наноматериалов и живых клеток очень сложное. Получено много данных о возможном токсичном воздействии на человека [4], в том числе на иммунную систему [5]. Тем не менее, по разным оценкам, разработки в области нанопродовольствия уже ведут 200-400 компаний. Данные для рынка РФ представлены на рис. 1.

Учёные из Агентства по исследованию продовольствия и окружающей среды (FERA, UK) привели в своей статье *pros and cons* использования нанотехнологий в пищевой промышленности (проанализированы перспективные направления, риски, пробелы в знаниях) [7]. Одно из основных направлений современных разработок – снижение количества жира в нанотекстурированных продуктах (мороже-

ное, майонез и др.). По виду и вкусу такие продукты, по мнению разработчиков, не будут отличаться от “жирных”. Поскольку не используются нерастворимые вещества, вред для человека можно считать минимальным. К внедрению на рынок ближе всего майонез, который состоит из эмульсии с наночастицами воды внутри.

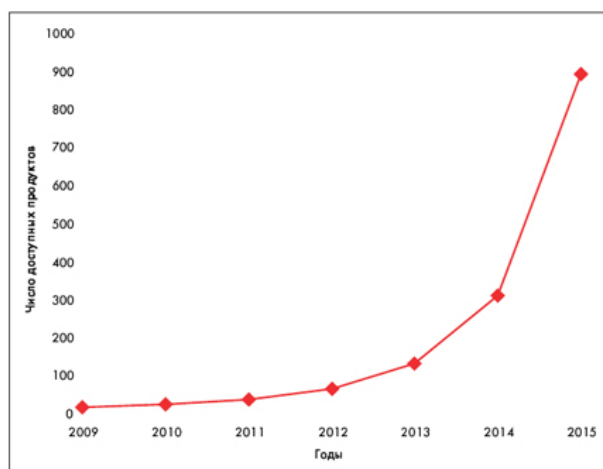


Рис. 1. Прогноз количества видов нанотехнологической пищевой продукции, доступной на рынке РФ [6].

Другое важное направление – нанокapsулы, содержащие питательные вещества или органические и неорганические нанодобавки для изменения цвета, аромата, удаления неприятных запахов и даже для защиты от микробов. В некоторых странах нанодобавки уже продаются. Особую озабоченность вызывают биостойкие неорганические наночастицы. Отдалённые последствия для здоровья неизвестны. Тем не менее, ожидается широкое внедрение в ближайшие годы. Один любопытный пример, который вряд ли порадует ценителей настоящих вин, но, возможно, повеселит читателей *ПерсТа*. В Амстердаме создано программируемое вино (Nano Wine) [8]. По вкусу это обычное Мерло, однако в микроволновке его легко можно превратить в “Каберне”, “Пино Нуар”, “Мальбек” и др. (рис. 2). Это “вино” содержит огромное количество нанокapsул, которые раскрываются при разных условиях обработки и придают напитку требуемый цвет, вкус и аромат.



Рис. 2. Nano Wine. Внешний вид и “инструкция”.

Нанопакетку уже начали внедрять на рынок. Разработаны разные варианты. Это полимерные материалы, содержащие наночастицы; нанопокрyтия на внутренней стороне упаковки; наноматериалы

“второго поколения” с функциональной поверхностью. Нанопакетку обеспечивает защиту от микробов, УФ, не пропускает определённые газы, влагу, запахи. А. Чубайс в ноябре 2011г. открыл в Казани завод по выпуску гибкой упаковки с использованием нанотехнологии ООО “ДАНАФЛЕКС-НАНО” (на немецком оборудовании). С 1 декабря 2011г. в этой высокobarьерной многослойной нанопакетке выходит продукция “Махеев” (майонезы, кетчупы, джемы и др.) [9]. Проникновение газов, прежде всего кислорода, затруднено слоистой структурой, образованной нанокomпозитом в толще плёнки (рис. 3). Теперь при транспортировке и хранении качество не будет ухудшаться. Однако исследования необходимы и здесь – возникает вопрос, не будут ли наночастицы из упаковки проникать в продукт.

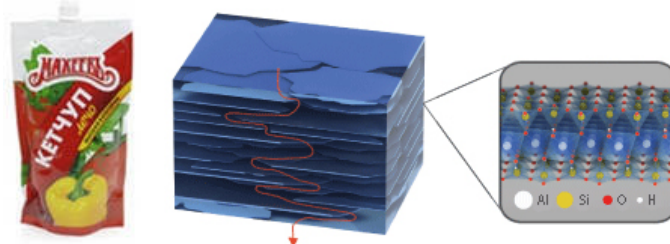


Рис. 3. Полимерные плёнки с добавлением нанокomпозитов (в частности, силикатной наноглины), повышающих барьерные свойства упаковочного материала [9].

В ближайшем будущем, вероятно, следует ожидать расширение производства наносенсоров – индикаторов безопасности и качества. Они могут подавать сигнал о нарушении вакуумной упаковки, о повторной заморозке, о порче продуктов (по выделению соответствующих газов). Это очень важно для покупателей – ведь мы, как правило, ориентируемся по срокам годности на этикетках и вынуждены доверять продавцам... Автор обширного обзора [10], посвящённого проблемам нанопакетку (а также безопасности продовольствия), приводит примеры различных наносенсоров. Например, в сенсоре на кислород используются фотоактивированные наночастицы  $TiO_2$ . При попадании кислорода индикатор внутри упаковки постепенно меняет цвет (рис. 4).

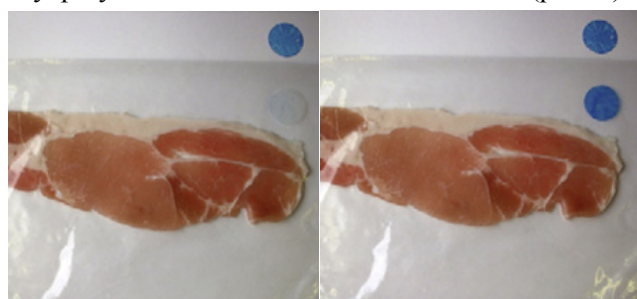


Рис. 4. Слева – ненарушенная упаковка. Справа – при попадании кислорода индикатор внутри упаковки (нижний) становится синим.

И российские, и зарубежные авторы в своих публикациях подчеркивают, что *успешное и безопасное* внедрение всех этих интересных разработок в пи-



шевую промышленность невозможно без совместного открытого обсуждения учёными, производителями и потребителями. Безусловно, также необходим контроль со стороны правительственных органов. Мы должны быть уверены, что на рынок попадёт безопасная и полезная, а не только приносящая прибыль продукция.

*О.Алексеева*

1. *ПерсТ 17, вып. 1/2, с. 4 (2010).*
2. *T. Duncan, Nature Nanotech. 6, 683 (2011).*
3. *Nanotechnologies and Food, Volume 1: Report (2010); <http://go.nature.com/cHRZfV>*
4. *ПерсТ 18, вып. 9, с. 4 (2011).*
5. *ПерсТ 19, вып. 1/2, с. 7 (2012).*
6. *И.В.Гмошинский и др., Российские нанотехнологии 5, №9-10, с. 6 (2010).*
7. *Q. Chaudhry et al., Trends in Food Sci&Techn. 22, 595 (2011).*
8. [www.nextnature.net/product/nano-wine/](http://www.nextnature.net/product/nano-wine/)
9. <http://www.rusnano.com>
10. *T. Duncan, J Colloid Interface Sci. 363, 1 (2011).*

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

### Платина на нанотрубке: электронные свойства и каталитическая активность

Наноструктурированная платина является хорошо известным катализатором, и сегодня многие научные коллективы занимаются разработкой перспективных методов синтеза материалов на ее основе. Однако на этот раз в центре внимания ученых оказался интересный объект на основе углеродной нанотрубки и платиновых кластеров [1]. Группа исследователей из Univ. of North Carolina (США) выполнили расчеты геометрических и энергетических характеристик, магнитных свойств и электронной структуры малых платиновых ансамблей, адсорбированных на поверхности одностенной углеродной нанотрубки (УНТ) с киральностью (5,5). Все расчеты проводились в рамках теории функционала плотности. Рассмотрев изолированный атом платины, линейные и зигзагообразные цепочки и небольшие трехмерные металлокластеры на поверхности УНТ, ученые обнаружили, что зонная структура комплекса Pt/УНТ очень чувствительна даже к минимальным изменениям морфологии платиновых агрегатов. В некоторых случаях исходная “чистая” металлическая нанотрубка после допирования платиной становилась узкозонным полупроводником. Так, например, изолированный атом Pt авторы размещали в двух фиксированных точках над поверхностью нанотрубки: над серединой углерод-углеродной связи в “перпендикулярном” (P) и “скошенном” (S) положениях (рис. 1). И если в P-положении атом Pt никак не влиял на металлический характер УНТ, то, располагаясь в S-точке, он способствовал возникновению небольшой энергетической щели у образца, превращая металлическую УНТ в полупроводниковую. Этот эффект становится более ярко выраженным в случае адсорбции нанотрубкой

одномерных платиновых структур (рис. 2). В этом случае величина диэлектрической щели у Pt/УНТ комплекса достигала 0.3 эВ.

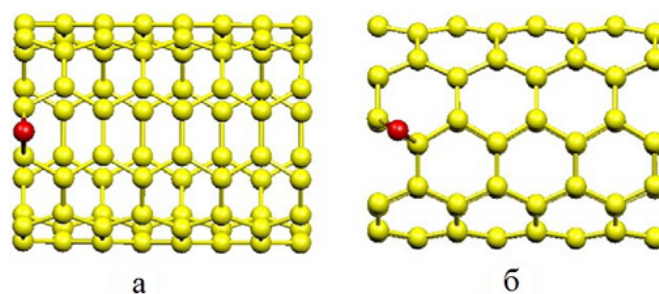


Рис. 1. Изолированный атом платины на поверхности углеродной нанотрубки в “перпендикулярном” (а) и “скошенном” положениях (б)

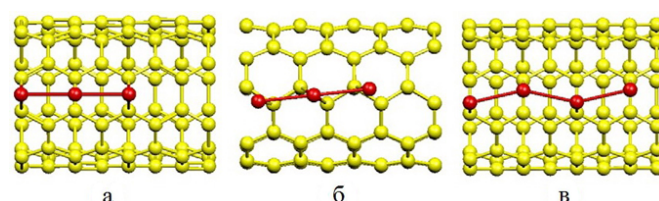


Рис. 2. Примеры платиновых цепочек, адсорбированных на поверхности углеродной нанотрубки: линейные (а, б) и зигзагообразные (в)

На заключительном этапе работы исследователи рассмотрели диссоциацию молекулярного кислорода на “чистой” и допированной единственным атомом платины (5,5)-УНТ. Непосредственный расчет показал, что более эффективно процесс диссоциации происходит на допированной нанотрубке. Возможно, в дальнейшем использование именно Pt/УНТ катализаторов окажется более перспективным направлением по сравнению с чистой платиной. Следующей задачей, которую авторы ставят перед собой, является детальное понимание механизмов влияния углеродной нанотрубки в составе комплекса Pt/УНТ на процесс диссоциации кислорода, в том числе в присутствии более крупных адсорбированных платиновых агрегатов.

*М. Маслов*

*1. K.E. Hayes et al., Chem. Phys. 393, 96 (2012).*

### Пленка из углеродных нанотрубок защищает от электромагнитного излучения

Одно из применений материалов на основе углеродных нанотрубок (УНТ) связано с защитой объектов от электромагнитного излучения (ЭМИ). Пленка на основе УНТ обладает достаточно высокой теплопроводностью, поэтому должна поглощать ЭМИ. Такие пленки могут быть использованы для защиты электронного оборудования телекоммуникационных систем, мобильных телефонов, ноутбуков и т.п. от электромагнитных помех. Детальное исследование поведения таких пленок при воздействии излучения СВЧ диапазона выполнено недавно в Белорусском государственном университете [1]. В качестве объекта исследования авторы использовали тканеподобную пленку однослойных

УНТ диаметром от 0.8 до 0.9 нм, синтезированных методом NiPCO, представляющим собой модификацию метода химического газозольного осаждения. Катализатором служили наночастицы железа, которые образуются при термическом разложении пентакарбонила железа  $\text{Fe}(\text{CO})_5$ . Синтез УНТ проводили при температуре  $1100^\circ\text{C}$  и полном давлении газа 2 атм в результате пропускания смеси  $\text{CO}:\text{Fe}(\text{CO})_5$  в соотношении  $10^5:1$  через объем, заполненный наночастицами железа. Тканеподобную пленку УНТ толщиной 25–30 мкм получали, пропуская через фильтр дисперсию УНТ в воде с добавлением поверхностно-активного вещества. Полученную пленку в течение 9 ч нагревали при  $1000^\circ\text{C}$  в потоке Ag. Взаимодействие пленок с СВЧ излучением в диапазонах частот 25.5–36.8; 36.3–53.42; 53.41–74.3 ГГц исследовали стандартным способом с использованием волновода, между фланцами которого помещали пленку. Согласно измерениям, средняя величина ослабления ЭМИ в указанных спектральных диапазонах оказалась равной 20, 37 и 41 дБ, соответственно.

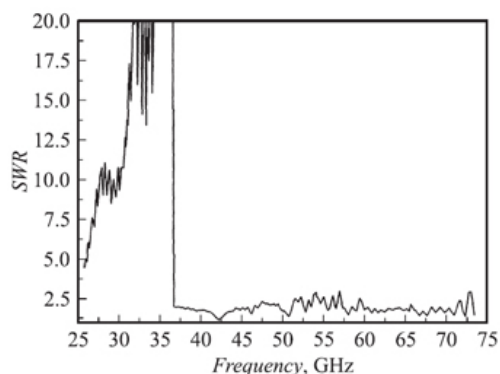


Рис. 1. Частотная зависимость коэффициента стоячей волны УНТ пленки

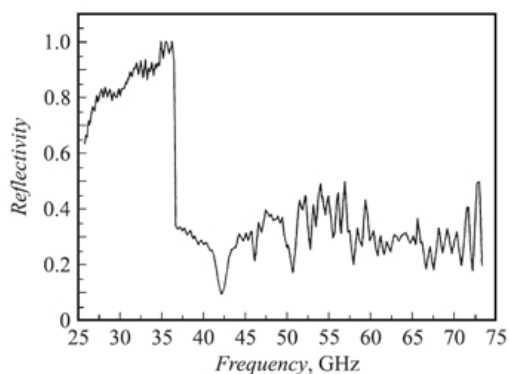


Рис. 2. Частотная зависимость коэффициента отражения УНТ пленки

На рис. 1, 2 приведены измеренные частотные зависимости коэффициента стоячей волны и коэффициента отражения УНТ пленок. Как видно, отражающие свойства УНТ пленки наиболее ярко выражены в области частот 25–35 ГГц. Такая пленка ведет себя подобно сетке, изготовленной из множества металлических нитей.

*А.Елецкий*

1. Ф.Ф.Комаров и др., *ЖТФ* **81**, в. 11, с. 140 (2011).

*Перст*, 2012, том 19, выпуск 4

## ОБЗОРЫ

### *Электроника на доменных границах*

Под таким названием вышел обзор [1], посвященный области микроэлектроники, которая, строго говоря, еще не развилась, но маячит на горизонте. Основная идея ее состоит в использовании доменных границ различного типа: сегнетоэлектрических, магнитных и сегнетоэластических. Согласно авторам [1], существуют как минимум две причины, почему эта тема достойна внимания. Во-первых, с уменьшением размеров устройств увеличивается роль поверхностных явлений: в тонких пленках, составляющих основу современной электроники, с уменьшением толщины растет концентрация доменных границ, что приводит к значительному увеличению диэлектрической проницаемости в сегнетоэлектриках, магнитной восприимчивости в магнитоупорядоченных веществах и упругой податливости в сегнетоэластиках. Во-вторых, свойства доменных границ могут отличаться от свойств доменов, которые они разделяют. Здесь авторы приводят знаменитую фразу из нобелевской речи Герберта Крёмера: граница – само по себе устройство (the interface is the device), сказанную, правда, в связи со свойствами полупроводниковых гетероструктур.

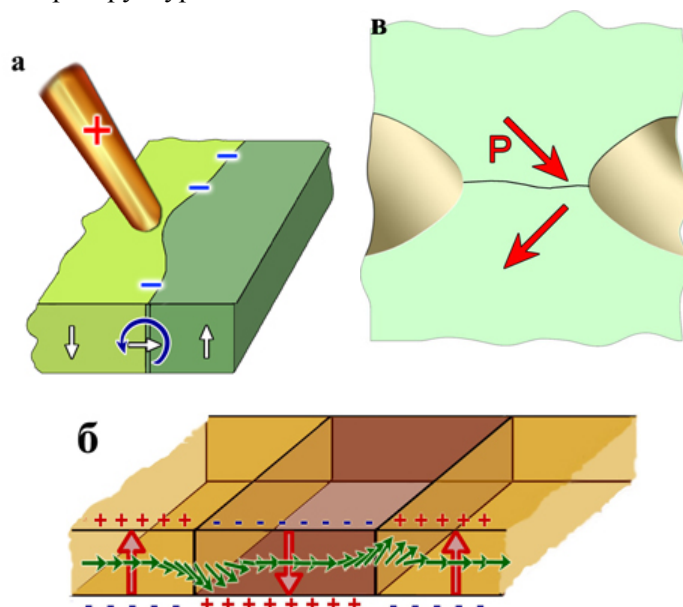


Рис. 1. Свойства доменных границ, присущие объему доменов:

а - электрическая поляризация магнитных доменных границ, проявляющаяся в электростатическом взаимодействии с заряженным зондом (притяжение или отталкивание в зависимости от полярности зонда) [2]; б - действие сегнетоэлектрических доменных границ на микромагнитную и антиферромагнитную структуры (красными стрелками показана электрическая поляризация, зелеными – магнитный параметр порядка) [3]; в - сегнетоэлектрические доменные границы в качестве проводящих каналов [5].

Какими же особыми свойствами обладают доменные границы? Поскольку в области доменных гра-

ниц локально понижается симметрия кристалла, это проявляется в новых эффектах. Магнитные доменные границы становятся электрически поляризованными (рис. а), а сегнетоэлектрические – напротив, локально меняют магнитное распределение [3] (рис. б), что в антиферромагнетиках может проявляться как возникновение намагниченности [4].

Резкое изменение электрической поляризации в области сегнетоэлектрической доменной границы приводит к возникновению в ней разности потенциалов и сильных электрических полей, что проявляется в электрической проводимости (рис. в), а также в фотогальванических эффектах.

К настоящему моменту наиболее проработана идея практического использования магнитных доменных границ: созданы прототипы устройств компьютерной памяти, в которых доменные границы перемещаются под действием импульсов магнитного поля [6] или спинового тока [7]. Быстродействие таких устройств определяется скоростью доменных границ, которая, в принципе, может достигать километров в секунду. Сегнетоэлектрические доменные границы в этом отношении не могут соревноваться с магнитными, поскольку их скорость ограничена скоростью звука в среде. По мнению авторов обзора [1], более перспективным является использование их проводящих свойств в соединительных устройствах и переключателях.

*А.Пятаков*

1. G.Catalan et al., *Rev. Mod. Phys.* **84**, 119 (2012).
2. A.S.Logginov et al., *Appl. Phys. Lett.*, **93**, 182510 (2008).
3. Z.V.Gareeva, A.K. Zvezdin, *EPL*, **91**, 47006 (2010).
4. M.Daraktchiev et al., *Phys. Rev. B* **81**, 224118 (2010).
5. J.Seidel et al., *Nature Mater.* **8**, 229 (2009).
6. D.A.Allwood et al., *Science* **309**, 1688 (2005).
7. S.S.P.Parkin et al., *Science* **320**, 190 (2008).

## КОНФЕРЕНЦИИ

**Advanced research workshop “Meso–2012”, Mesoscopic and strongly correlated electron systems – 6, Non-equilibrium and coherent phenomena at nanoscale, June 17-23, 2012, Chernogolovka, Russia**

Topics

- Charge and spin dynamics in nanostructures
- Topological insulators
- Charge-phase duality and qubits
- Strongly disordered superconductors and SIT
- Non-equilibrium 2DEG

Application deadline: **March 15, 2012**

**School:** a summer school on nanophysics and nanoelectronics will be held just before the conference, on June 8-15, 2012.

E-mail: [meso12@itp.ac.ru](mailto:meso12@itp.ac.ru)

Web: <http://meso12.itp.ac.ru/>, <http://school2012.itp.ac.ru/>

**International Conference on Phase Separation and Superstripes in High Temperature Superconductors and Related Materials (Superstripes 2012), July 11 - 17, 2012, Erice, Italy**

Topics

- Phase separation • Complexity • Heterogeneity in quantum condensates • Granular superconductivity • Shape resonances in superlattices • Insulator to superconductor transition • Striped phases • Anisotropic superconductors • Competition between magnetism and superconductivity • Multigap superconductivity • Multiband superconductivity • Two-gap superconductivity • Quantum size effects • Polaron liquids • Quantum phase transitions • Pnictides • Cuprates • Manganites • Diborides • Graphene • Intercalated graphite • New complex materials

Abstract submission: **March 30, 2012**

E-mail: [Conf.Stripes@roma1.infn.it](mailto:Conf.Stripes@roma1.infn.it)

Web: <http://superstripes.com>

Экспресс-бюллетень ПерсТ издается совместной информационной группой ИФТТ РАН и НИЦ “Курчатовский институт”

Главный редактор: И.Чугуева, e-mail: [irina@issp.ras.ru](mailto:irina@issp.ras.ru)

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

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

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64<sup>а</sup>