

В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### *Неквазичастичная природа фермиевских дуг в купратных ВТСП*

Данные фотоэмиссионной спектроскопии с угловым разрешением (ARPES) говорят о том, что в псевдощелевой фазе купратных ВТСП поверхность Ферми не является замкнутой, а состоит из нескольких не связанных друг с другом сегментов – фермиевских дуг. Это противоречит теоретическим представлениям о топологической целостности электронных энергетических зон. В литературе обсуждались два различных пути разрешения такого противоречия: 1) отказ от концепции квазичастиц (основы современной физики твердого тела) и 2) предположение, что фермиевские дуги – это на самом деле вовсе не дуги, а небольшие “карманы” (то есть, по сути, маленькие замкнутые поверхности Ферми). В работе [1] (США, Япония) электронная структура купрата  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  изучена с использованием модифицированной (позволяющей достичь более высокого разрешения) методики ARPES и нового (томографического) способа анализа ARPES-спектров. Обнаружено, что спектральный вес, формирующий фермиевские дуги, смещен к ним от края сверхпроводящей щели за счет процессов распаривания. Таким образом, квазичастицы остаются на краю щели, а фермиевские дуги имеют неквазичастичную природу. Это неквазичастичное состояние, по-видимому, и ответственно за необычные термодинамические и транспортные свойства псевдощелевой фазы.

*Л. Опенов**1. T.J.Reber et al., Nature Phys. 8, 606 (2012).*

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### *Возбужденные электронные состояния для перепутывания ядерных спинов*

Спины электронов и атомных ядер являются одними из основных кандидатов в физические носители квантовой информации (кубиты). Преимущество ядерных спинов заключается в больших (несколько секунд) временах сохранения когерентности суперпозиционных состояний. Но ядерные спины очень слабо взаимодействуют друг с другом, что накладывает ограничение снизу на время осуществления квантовой операции с двумя такими спинами. Для ускорения операций можно использовать взаимодействие ядерных спинов с электронными. Однако постоянное присутствие электронных спинов рядом с ядерными приводит к быстрой декогерентизации последних. В работе [1] исследователей Univ. of Oxford (Великобритания) предложено “индуцировать” электронный спин только на время проведения операции с ядерными кубитами. В своем эксперименте авторы [1] использовали производную молекулы фуллерена  $\text{C}_{60}$  с двумя ядерными спинами:  $^1\text{H}$  и  $^{31}\text{P}$ . Путем воздействия короткого лазерного импульса молекулу  $\text{C}_{60}$  переводили из синглетного состояния (спин  $S = 0$ ) в триплетное ( $S = 1$ ), и созданный таким образом электронный спин стимулировал взаимодействие ядерных спинов, что позволило осуществить двухкубитные опера-

И далее ...

### **НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА**

#### **2** Вакуумная наноэлектроника

Наноструктуры в природе.  
Секреты паутины

### **ГРАФЕН**

#### **5** Как свернуть графен в трубочку

### **МАГНИТЫ**

#### **6** Дефекты в кремнии запоминают магнитное поле

### **ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ**

#### **7** Объем разрядной камеры влияет на синтез однослойных углеродных нанотрубок

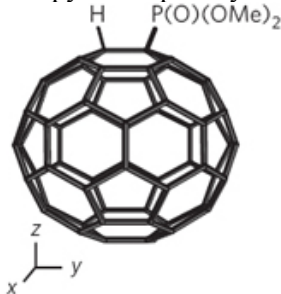
### **ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ**

#### **7** Объединенный международный симпозиум по доменным структурам и сегнетоэлектричеству (ISFD-11-RCBJSF)

### **КОНФЕРЕНЦИИ**

#### **9** Семинар по физике конденсированного состояния 19 сентября 2012 г.

ции CNOT и SPHASE за несколько сотен наносекунд – на пять порядков быстрее, чем в отсутствие электронного спина. Используемый в [1] подход можно применить и к другим системам, таким как центры азот-вакансия в алмазе. Более того, для контролируемого добавления/удаления электронного спина можно использовать не только оптические, но и электростатические методики – например, ионизируя/нейтрализуя доноры фосфора в кремнии.



Фосфонатное производное моногидрофуллера

1. V.Filidou et al., *Nature Phys.* **8**, 596 (2012).

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

### Вакуумная наноэлектроника

Идеальной средой для перемещения носителей тока является вакуум. В вакууме электроны не рассеиваются на дефектах и колебаниях атомов, как в твердых телах. Поэтому неудивительно, что первые электронные приборы основывались на вакуумных лампах, включающих в себя катод, анод и управляющую сетку. Эти лампы были впоследствии вытеснены твердотельными транзисторами, которые хотя и значительно уступали электронным лампам по техническим характеристикам, но выгодно отличались от них малыми размерами и низкой стоимостью изготовления. Вакуумная микроэлектроника тоже не смогла конкурировать с кремниевыми интегральными схемами по размерам элементов и функциональности приборов (рис. 1).

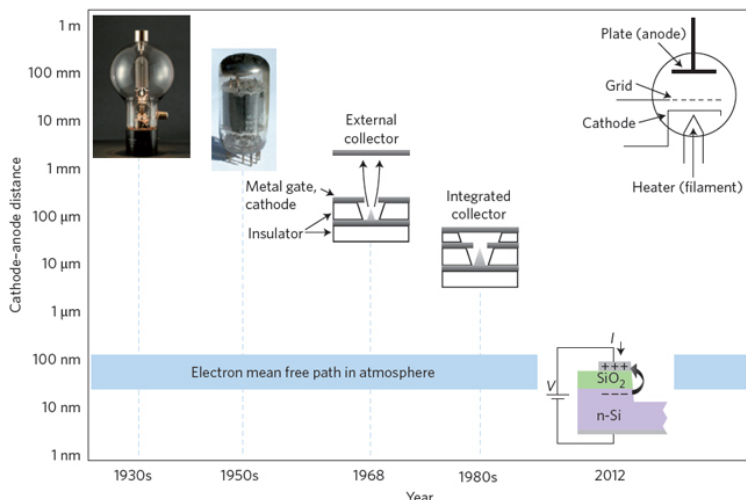


Рис. 1. Эволюция вакуумной электроники. Расстояние катод-анод в различных электронных приборах по сравнению со средней длиной свободного пробега электрона в атмосфере.

Но история, как известно, развивается по спирали. Недавно появились сообщения [1, 2] об изготовлении (путем травления сфокусированным пучком ионов) кремниевых МОП структур с вакуумными каналами (рис. 2).

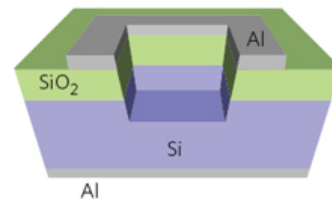


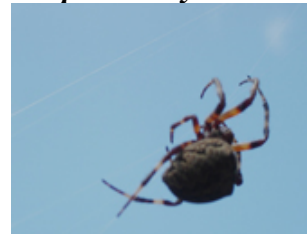
Рис. 2. Схематическое изображение наноканала в кремниевой МОП структуре. Длина канала равна толщине оксидного слоя.

Эти устройства сочетают в себе преимущества баллистического транспорта электронов через вакуум с масштабируемостью, дешевизной и полной совместимостью с кремниевой технологией. Как создавался вакуум? Да никак... Каналы были заполнены обычным воздухом. Все дело в том, что длина каналов была сравнима (150 нм в [1]) или даже существенно меньше (20 нм в [2]) длины свободного пробега электронов в атмосфере при нормальных условиях (~ 100 нм). Поэтому электроны при движении по каналу практически не рассеивались, почти как в настоящем вакууме. Резервуаром для эмиссии электронов служил металлический слой. Кулоновское отталкивание между электронами в квазидвумерной электронной системе приводило к уменьшению энергетического барьера для эмиссии, что позволило достичь высокой плотности тока эмиссии (~ 10<sup>5</sup> А/см<sup>2</sup>) при низком напряжении (1 В). Отношение токов открытого и закрытого состояния составило ~ 500 – гораздо больше, чем в транзисторах из графена (~ 2), хотя и меньше, чем в обычных кремниевых транзисторах. Развитие идей [1, 2] может привести к появлению нового поколения полупроводниковых наноприборов.

1. Jin-Woo Han et al., *Appl. Phys. Lett.* **100**, 213505 (2012).
2. D.S Srisophonphan et al., *Nature Nanotech.* **7**, 504 (2012).

### Наноструктуры в природе.

#### Секреты паутины



Все мы много раз встречались с паутиной – любовались сверкающими на ней каплями росы или дождя, с уважением разглядывали ловушки, натянутые высоко в соснах или недовольно стряхивали липкие нити с лица, собирая в лесу грибы. Но, наверное, не все знают, как научные исследования наноструктуры паутины помогают создавать новые уникальные материалы.

В основном предметом изучения является очень прочный эластичный шёлк пауков-кругопрядов рода *Nephila*. Эти пауки широко распространены в тропических лесах. Иначе их называют золотыми ткачами (нити паутины золотого цвета), гигантски-

ми древесными пауками, пауками-шелкопрядами. В средней полосе России тоже есть пауки из семейства кругопрядов – пауки-крестовики длиной 20-25 мм, которые плетут паутину до 1 м в диаметре (правда, она не такая прочная, как паутина *Nephila*). На фотографии – паук-крестовик из Тверской области, бегущий вверх по своему “канату”.

Прядильный аппарат пауков состоит из внутренних желез и наружных бородавок. Пауки (точнее, паучихи) “прядут” различный шёлк паутин – для липких ловчих сетей, для каркаса паутины, для перемещения, в том числе для своего рода страховочного троса, по которому они могут мгновенно спуститься в случае опасности. Очень упрощенно плетение паутины можно представить так. Сначала паук, находясь где-нибудь высоко на ветке около открытого пространства, прядет лёгкую нить, которая на ветру оплетается вокруг опоры, например, другой ветки. Паук проходит по этой нити в новое место, укрепляя её, прядёт и натягивает новые нити – строит сухой прочный каркас паутины (наружную раму и радиальные нити), и в последнюю очередь создаёт ловчую спираль – прядёт клейкую нить и прикрепляет её к радиальным нитям каркаса (рис. 1а [1]).

Прочная шёлковая нить (“dragline”) паука *Nephila clavipes*, которая служит для каркаса и “страховочного троса”, включает центральную часть и обо-

лочку (рис. 1с [1]). Фибриллы диаметром ~ 100 нм, образующие центральную часть, состоят из белков спидроинов (от англ. *spider* – паук) двух типов MaSp1 и MaSp2 [2]. Это очень длинные молекулы размером в несколько тысяч аминокислотных остатков. Спидроины по аминокислотному составу похожи на белки шёлка фиброины, поэтому нити паутины называют паучьим шёлком.

Белки состоят из нанокристаллитов антипараллельных β-пластинок, богатых аминокислотой аланином, распределённых в матрице из полипептидных цепочек и спиральных структур, богатой другой аминокислотой – глицином (рис. 1е). Элементарный состав волокна  $C_{24}H_{52}N_8O_{16}$  [3]. Нанокристаллиты, по общепринятому мнению, обеспечивают прочность нити, а молекулярные “нанопружинки” и петли – эластичность.

В момент производства нить паутины на 30-50% состоит из растворимых MaSp белков, остальное – вода. Вода быстро уходит, и в полиаланиновой области происходят необратимые структурные изменения (образование β-пластинок), которые приводят к агрегации и ориентированию белков [2]. Так начинает формироваться волокно.

В основе липкой части паутины – очень крупный белок одного типа (Flag). Процесс формирования волокна здесь другой, до конца пока не ясный.

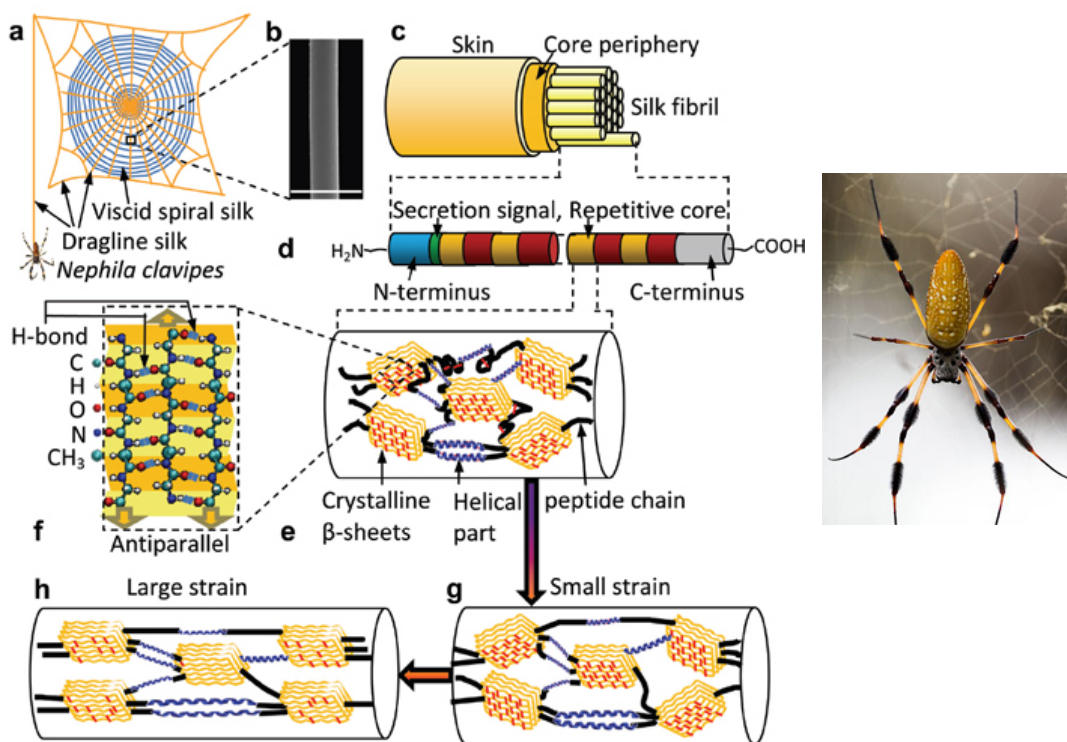


Рис. 1. Структура паутины [1] и внешний вид *Nephila clavipes* (Wikipedia):

а - схема паутины (жёлтым цветом показан прочный “dragline” шёлк, синим – клейкие нити); б, с - SEM изображение и структура отдельного “dragline” волокна; d - отдельная фибрилла с N- и C-концевыми аминокислотными остатками; е - схематическая структура белка (красные короткие линии – водородные связи); f - кристаллическая β-пластинка состоит из антипараллельных пептидных цепочек; g, h - разрыв водородных связей и ориентирование доменов при небольшом (g) и сильном (h) растяжении.

Уже более 20 лет в различных лабораториях пытаются получить искусственный шёлк, такой же прочный и эластичный, как паучий. Этот шёлк может стать важнейшим текстильным материалом 21 века. Учёные применяют различные подходы. В качестве основы волокна используют белки MaSp или их синтетические аналоги; подбирают оптимальные технологические приёмы и методы обработки. Недавно авторы [2] впервые решили добавить к белкам MaSp белок Flag липкой нити, поскольку она является самой эластичной. Точнее, учёные использовали более короткие, чем у пауков, белки MaSp и Flag и упрощенную последовательность. ЯМР-исследования показали важность обработки водой (увеличение доли  $\beta$ -пластинок), а данные рентгеновской дифракции подтвердили, что ориентирование нанокристаллитов вдоль оси волокна повышает его прочность. Авторы работы считают, что для создания искусственного шёлка важно определить простые, но оптимальные базовые повторяющиеся последовательности коротких структурных фрагментов, которые обеспечат формирование волокна и нужные механические свойства. Необходимую информацию для этого получают, изучая структурные свойства нити паутины. В основном исследовали  $\beta$ -нанокристаллиты, но недавно с помощью методов рентгеновского рассеяния были получены новые данные и о структуре аморфной матрицы [3]. Российские учёные из Государственного научно-исследовательского института генетики и селекции промышленных микроорганизмов и из МГУ также ведут работы по созданию искусственной паутины для медицинских применений, используя клонирование генов спидроинов [4,5].

Многолетние исследования наноструктуры и механических свойств паутины позволили японскому учёному S. Osaki найти необычное применение прочному паучьему шёлку [6]. Из “страховочного троса” паука *Nephila maculata*, одного из видов “золотых кругопрядов”, он сделал... струны для скрипки!

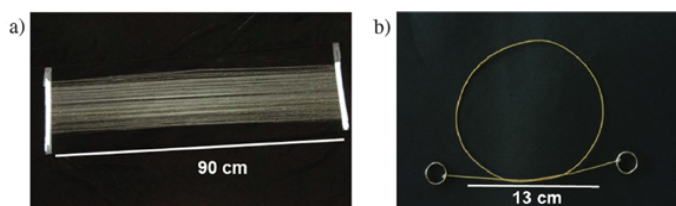


Рис. 2. Фотография паучьих струн [6]: а - около 3000 “dragline” нитей, спрядённых паучихами *N. Maculate*; б - струна, полученная скручиванием 3 пучков из 3000 нитей каждый.

Сначала учёный продемонстрировал высокую прочность этого шёлка. Он показал, что короткий (13 см) пучок из 190 000 нитей, собранных от 300 пауков, может выдержать груз, по весу равный весу взрослого мужчины. Однако объёмная плотность пучка была очень низкой, поэтому он не годился для струн. Последующие эксперименты позволили оптимизировать структуру упаковки нитей и сде-

лать плотные, механически прочные струны. Исследователь собрал множество нитей, уложил их параллельными рядами (рис. 2а) и специальным образом скрутил сначала каждый пучок, а затем три пучка вместе (рис. 2б). Скручивание изменило форму поперечного сечения нитей с круглой (рис. 3б) на полигональную (рис. 3с) и обеспечило плотную упаковку. Скрипку с новыми струнами испытывали несколько профессиональных японских скрипачей. По их мнению, обертоны при высоких частотах обеспечили мягкий, глубокий тембр звука [6].

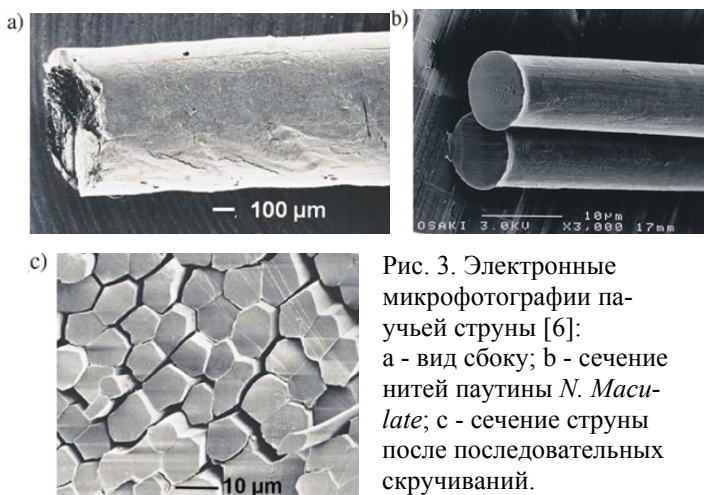


Рис. 3. Электронные микрофотографии паучьей струны [6]: а - вид сбоку; б - сечение нитей паутины *N. Maculate*; с - сечение струны после последовательных скручиваний.

Скрипичные струны – новое практическое применение паучьего шёлка, предложенное на радость всем любителям музыки. Кроме того, найден способ формирования уникальной структуры упаковки, важный для создания композитов нового типа.

Но самые интересные и неожиданные результаты недавно получили исследователи из Iowa State Univ. (США) [1]. Они обнаружили чрезвычайно высокую теплопроводность каркасной нити, которую в их лаборатории спряли пауки *Nephila clavipes*. Коэффициент теплопроводности  $k$  оказался равным 349 Вт/м К! Напомним, что для меди, одного из лучших проводников тепла,  $k \sim 400$  Вт/м К. Теплопроводность полимерных материалов обычно очень низка из-за сильного рассеяния фононов на дефектах и границах структурных элементов; её величина находится в пределах  $k = 0.03-0.8$  Вт/м К, в зависимости от структуры, пористости, влажности и др. Для биологических тканей  $k \sim 0.5$  Вт/м К, то есть  $\sim$  в 800 раз ниже, чем для паучьего шёлка. Паутина оказалась самым теплопроводным органическим материалом.

Авторы [1] сделали и второе важное открытие. Эксперименты показали, что коэффициент теплопроводности растёт при растяжении паутины и достигает величины 416 Вт/м К при растяжении на 19.7% (см. таблицу). Теплопроводность становится лучше, чем у меди, и практически такой же, как у серебра. Рост теплопроводности при растяжении может продолжаться, т.к. насыщения исследователи не увидели. Но пока алмаз и графен остались недосягаемыми...

Таблица. Сравнение коэффициентов теплопроводности различных материалов при 300К.

Материал	“Dragline” шёлк при растяжении 3.9%	“Dragline” шёлк при растяжении 19.7%	Шёлк тутового шелкопряда	Биоткани	Кевлар 49	Cu	Ag
$k$ (Вт/м К)	349	416	0.37	~ 0.5	~ 30	401	428

Учёные уверены, что такая необычайно высокая теплопроводность объясняется уникальной наноструктурой паутиной нити (рис.1), которая также отвечает и за фантастические механические свойства. В соответствии с фононной теорией теплопроводности  $k \sim \rho c_p v l$ , где  $\rho$  – плотность,  $c_p$  – удельная теплоемкость,  $v$  – скорость звука,  $l$  – средняя длина свободного пробега фононов. Структура белка формируется путем самосборки, она практически бездефектная. Высоко ориентированные антипараллельные  $\beta$ -нанокристаллиты имеют высокую теплопроводность, но их всего около 10%. По-видимому, структура матрицы тоже упорядоченная, что способствует распространению фононов. При растяжении разрываются внутри- и межцепочечные водородные связи, нанокристаллиты выстраиваются вдоль оси волокна (рис. 1g,h) и длина свободного пробега фононов растёт. По оценкам авторов [1] при растяжении “dragline” шёлка на 3.9- 19.7% длина свободного пробега фононов  $l = 24-35$  нм. Обычно для полимеров  $l \leq 1$  нм.

Авторы [1] считают, что полученные ими результаты перевернут сложившееся представление о низкой теплопроводности биологических материалов. Будут созданы синтетические и природные генетически модифицированные волокна с высокой, к тому же регулируемой теплопроводностью. Такие гибкие, лёгкие, биоразлагаемые диэлектрические материалы найдут широкое применение. Некоторые примеры – элементы гибкой электроники, медицинские перевязочные материалы, одежда для жаркой погоды, теплообменные аппараты.

Для создания таких материалов, конечно, необходимы исследования фундаментального характера, направленные на изучение спектра тепловых колебаний паучьего шёлка и механизмов фононного рассеяния.

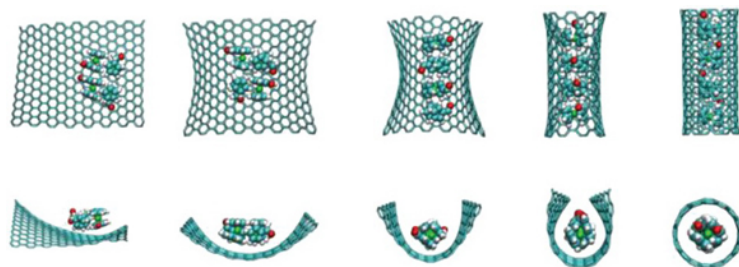
*О.Алексеева*

1. X. Huang et al., *Adv. Mater*, **24**, 1482 (2012).
2. F. Teule et al., *Biopolymers*. **97**, 418 (2012).
3. C.J. Benmore et al., *Phys. Rev. Lett.* **108**, 178102 (2012).
4. В.Г. Дебабов, В.Г. Бозуш, *Природа* №2, 5 (1999).
5. M. Moisenovich et al., *Biomaterials* **33**, 3887 e (2012).
6. S. Osaki, *Phys.Rev.Lett.* **108**, 154301 (2012).

## ГРАФЕН

### Как свернуть графен в трубочку

Новую методику синтеза многослойных углеродных нанотрубок удалось разработать многонациональному авторскому коллективу из Италии, Бельгии и Нидерландов [1]. Исследователи обнаружили, что в присутствии ферроцен-альдегида графен в диметилформамиде сворачивается под действием ультразвука (см. рис.).



Схематическое изображение процесса формирования углеродной нанотрубки из графена

Углеродные нанотрубки образуются на краях графенового листа и содержат кластеры железа внутри. При этом длина полученных образцов достигает двух микрон. Анализ с помощью просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения позволил исследователям детально рассмотреть как процесс закручивания графеновых краев, так и четко идентифицировать результат синтеза. Авторы подчеркивают ключевую роль ферроцен-альдегида: при проведении контрольных экспериментов с другими веществами (бензойным альдегидом или различными производными ферроцена) формирование нанотрубок не наблюдалось. Повышение температуры в процессе синтеза также снижает общий выход образцов.

В итоге, открытым пока остается вопрос извлечения кластеров железа из нанотрубок, но авторы предполагают, что предложенная ими методика является достаточно общей и в дальнейшем позволит контролировать процессы получения не только многослойных нанотрубок, но и других углеродных наноструктур посредством ультразвуковой обработки.

*М.Маслов*

1. M. Quintana et al., *J. Am. Chem. Soc.* **134**, 13310 (2012).

## МАГНИТЫ

### Дефекты в кремнии запоминают магнитное поле

В последние годы интенсивно исследуют влияние относительно небольшого магнитного поля  $< 1$  Тл на различные процессы в кремнии. Обнаружен ряд удивительных эффектов, когда магнитное поле изменяет подвижность [1] и стартовые напряжения дислокаций [2], а также целый ряд физических характеристик поверхности [3] при комнатной температуре. Впечатляющей общей чертой упомянутых эффектов является то, что изменения, инициированные магнитным полем, можно обнаруживать спустя очень длительные времена (несколько суток) после выдержки кристаллов в магнитном поле. Авторы [1-3] независимо друг от друга определили, что причиной остаточных изменений свойств кремния является преобразование кислородсодержащих комплексов под действием магнитного поля. Установить, какие еще атомы содержатся в этих комплексах необходимо для того, чтобы разобраться в механизмах влияния поля на них. Это имеет принципиальное значение еще и потому, что пока большинство кремниевых приборов спинтроники переключаются либо значительно большими полями, либо при очень низких температурах. В работах [1-3] сообщается об очень удобных спинтронных переключателях естественного происхождения, работающих при комнатной температуре. Этими переключателями являются дефекты (примесные комплексы) в кремнии. Вот только химический состав этих комплексов и сценарий процессов, развивающихся в них под действием магнитного поля, остается тайной за семью печатями. Главной трудностью является низкая концентрация магнитопереключаемых комплексов примеси, не позволяющая применить стандартные спектроскопические методики для их идентификации. Измеряемые же макроскопические характеристики, перечисленные выше, являются при этом очень отдаленным эхом элементарных процессов, стимулируемых магнитным полем в кремний-кислородных комплексах.

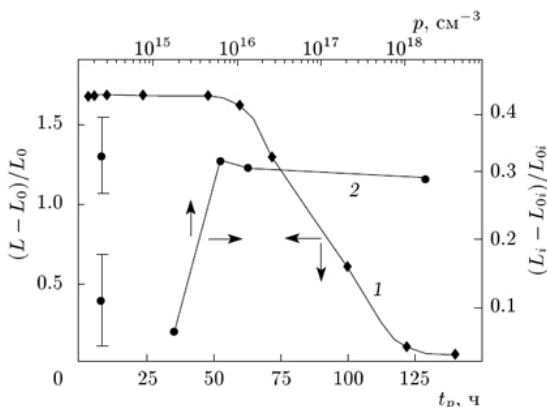


Рис. 1. Зависимости относительной прибавки пробегов дислокаций в магнитном поле 1 Тл от концентрации примеси и времени выдержки кристаллов в магнитном поле после нанесения царапины.

Изыскный выход из положения был найден авторами [4], которые обнаружили пороговую зависимость магнитостимулированной прибавки пробегов дислокаций от концентрации примеси бора (рис. 1). Порог возникает тогда, когда концентрация бора оказывается равной концентрации кислорода в кристаллах. Эта зависимость означает, что помимо кислорода в магнитопереключаемые комплексы входит еще и бор – примесь, обеспечивающая р-тип проводимости. Этот факт позволяет значительно сузить число возможных комплексов, подверженных влиянию магнитного поля и предложить их наиболее реалистичные атомные модели.

Отметим, что сами дислокации, с помощью которых проводили исследование в [4], оказываются не нужными для того, чтобы изменения структуры примесных комплексов произошли и оставались долгое время в кристалле. Это прямо следует из того, что на результаты опытов практически не влияет факт приложения магнитного поля до или после введения дислокаций в кристаллы (рис. 2)

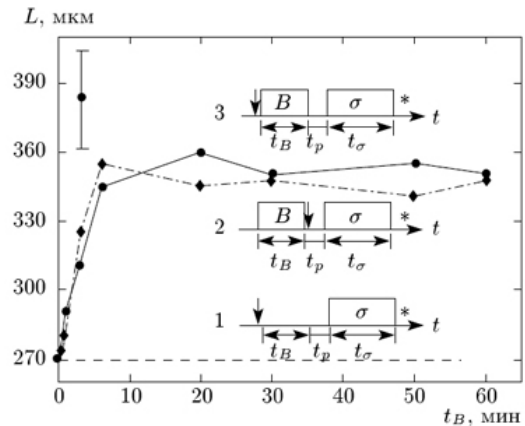


Рис. 2. Зависимость пробегов дислокаций от длительности выдержки кристаллов в магнитном поле в различных условиях: 1 – в отсутствие магнитного поля; 2 – дислокации вводятся после приложения магнитного поля; 3 – дислокации вводятся до приложения магнитного поля.

В [4] помимо подвижности дислокаций изучали диффузию фосфора, которая также изменялась под действием приложенного магнитного поля. Этот результат был обнаружен по глубине залегания р-перехода, который после магнитной обработки располагался на 20% глубже, чем в контрольных образцах. Следовательно, магнитную обработку кристаллов можно рассматривать еще и как экстравагантный вид инженерии полупроводниковых приборов.

О.Коплак

1. А.А.Скворцов и др., *ЖЭТФ* **120**, 134 (2001).
2. I.Yonenaga, K.Takahashi, *J. Appl. Phys.* **101**, 053528 (2007).
3. O.V.Koplak et al., *J. Appl. Phys.* **110**, 044905 (2011).
4. А.А.Скворцов, А.В.Каризин, *ЖЭТФ* **141**, 96 (2012).

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

### Объем разрядной камеры влияет на синтез однослойных углеродных нанотрубок

Один из традиционных подходов к синтезу однослойных углеродных нанотрубок (ОСУНТ) основан на использовании дугового разряда с графитовым анодом. В этом случае термическое разложение материала анода при высоких токах (порядка 100 А) приводит к образованию значительного количества атомов углерода, последующее охлаждение которых в присутствии катализатора сопровождается конденсацией и формированием однослойных УНТ. Основной механизм охлаждения углеродного пара связан с конвективным движением из горячей приэлектродной области в более холодную, периферийную область разрядной камеры. Поэтому можно предположить, что размер камеры, определяющий условия конвекции, должен влиять на характер и эффектив-

ность образования УНТ. Недавно влияние размера камеры на выход УНТ был исследован группой ученых из Univ. of Toulouse (Франция) [1]. Синтез ОСУНТ проводили в электрической дуге при давлении гелия около 400 Торр. Объем разрядной камеры мог варьироваться с помощью стеклянных насадок и составлял 60, 25 или 18 л. Использовали вертикальную конфигурацию электродов (катод сверху). В качестве анода использовали графитовый стержень диаметром около 5 мм и длиной 50 мм, в котором было просверлено коаксиальное отверстие диаметром 3 мм и глубиной 30 мм. Это отверстие заполняли смесью графитового порошка с размером зерен 1 или 100 мкм и никель-итриевого катализатора (Ni:Y:C = 0.6:0.6:98.8). Плотность материала, заполняющего отверстие, составляла (в зависимости от размера графитовых зерен) 1.71 г/см<sup>3</sup> и 1.50 г/см<sup>3</sup>, для зерен размером 1 и 100 мкм, соответственно.

Результаты ТЕМ исследования сажи, полученной в камерах различного объема с использованием анодов с различным размером зерен графита.

Размер зерен графита, мкм		Объем камеры, л		
		60	25	18
100	Выход УНТ, объем %	5	12 - 17	< 0.5
	Наблюдения	Аморфный углерод, полиароматические соединения, онионы, фуллереиды; мало ОСУНТ	Жгуты ОСУНТ практически не содержат примесей	Наряду с ОСУНТ имеются многослойные УНТ
1	Выход УНТ, объем %	7 - 10	60	< 0.5
	Наблюдения	Наблюдаются все типы примесей, мало ОСУНТ	Жгуты ОСУНТ вовсе не содержат примесей	Полиароматические соединения, онионы, однослойные нанокapsулы, немного многослойных УНТ

В таблице приведены результаты исследования с помощью просвечивающего электронного микроскопа (ТЕМ) сажи, полученной в камерах различного объема с использованием анодов с различным размером зерен графита. Полученные данные указывают на существенную зависимость выхода ОСУНТ и степени чистоты продукта, как от объема разрядной камеры, так и от размера зерен графита, входящего в состав анода. Наиболее благоприятные условия для синтеза ОСУНТ реализуются при объеме камеры 25 л и размере зерен 1 мкм. Как полагают авторы работы, роль объема камеры сводится к установлению оптимальных условий конвекции газа, в то время как размер зерна определяет условия теплоотвода от лицевой поверхности анода.

А.Елецкий

*I. V. Ramarozatovo et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 45, 345204 (2012).*

## ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

### Объединенный международный симпозиум по доменным структурам и сегнетоэлектричеству (ISFD-11-RCBJSF)

“О, Запад есть Запад, Восток есть Восток, и с мест они не сойдут”.

Р. Киплинг



С 20 по 24 августа 2012 г. в Екатеринбургe состоялась крупная международная конференция, объединившая в себе два симпозиума с многолетней историей: *XI Симпозиум по сегнетоэлектричеству России – Японии – стран СНГ и Балтии (XI Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium on Ferroelectricity)* и *XI Международный симпозиум по доменным структурам микро- и наноструктурам в веществах с различными типами упорядочений (XI International Symposium on Ferroic Domains and Micro- to Nanoscopic Structures)*. В проведении такого мероприятия было много символического: оба симпозиума до того проводились ровно де-

сать раз в разных уголках Запада и Востока, но никогда не встречались, а сошлись в городе, находящемся на границе Европы и Азии. Этот примечательный факт, нашел отражение в эмблеме конференции, выполненной в форме “инь и ян”.

Объединенный симпозиум открывали доклады, посвященные сканирующим зондовым методам исследования материалов. В частности, Ясуо Чо (Yasuo Cho) из Tohoku Univ. (Япония) выступил с докладом о новом виде зондовой микроскопии – сканирующей нелинейно-диэлектрической микроскопии. Принцип действия ее основан на измерении диэлектрического отклика на второй и более высоких гармониках от исследуемой поверхности в месте расположения зонда. Этот метод уже зарекомендовал себя как мощный инструмент, позволяющий визуализировать распределение зарядов в устройствах сегнетоэлектрической памяти сверхвысокой плотности [1] и флеш-памяти [2]. Представители компании NT-MDT рассказали о приложении атомно-силовой микроскопии к исследованию диэлектриков и сегнетоэлектриков. Здесь стоит отметить, что в рамках симпозиума также работала Школа для молодых ученых по микроскопии высокого разрешения, в проведении которой активное участие принимали NT-MDT, Intertech Corporation, а также местные организации: ООО “Лабфер” и Уральский центр коллективного пользования “Современные нанотехнологии”.

Последовавшие затем доклады А.К. Таганцева (Swiss Federal Inst. of Technology of Lausanne) [3] и А.Н. Морозовской (Институт физики полупроводников НАН Украины) [4], посвященные доменным границам с необычными свойствами, задали тон почти половине докладов одного из симпозиумов. Так, по мнению А.К. Таганцева заряженные доменные границы могут усиливать диэлектрические и сегнетоэлектрические свойства материалов [5]. В духе афоризма Г. Кремера *the interface is the device* прозвучал доклад Яна Сейделя из Univ. of New South Wales (Австралия) о дополнительных функциональностях доменных границ: они могут служить в качестве проводящих зон в диэлектрической матрице [5], а также выполнять роль эффективных разделителей электронно-дырочных пар в фотогальванических элементах [6]. Стоит заметить, что доменные стенки в сегнетоэлектриках уже сами по себе представляют собой наноструктуры, ведь толщина обычной доменной границы меньше нанометра, и этим они отличаются от своих собратьев в магнитных материалах, где толщина доменной стенки достигает сотни нанометров. Другое отличие состоит в том, что в сегнетоэлектриках поляризация изменяется по величине (граница изинговского типа рис. 1а), в то время как в магнитных доменных границах намагниченность постепенно разворачивается, сохраняясь по модулю (стенки Блоха и Нееля, рис. 1б,с). Впрочем, пропасть между грани-

цами не столь уж велика: как рассказал чешский исследователь И. Глинка (Jiri Hlinka), под действием механических напряжений границы изинговского типа переходят в границы неелевского и наоборот. Еще больше сближает магнитный и сегнетоэлектрический миры тот факт, что магнитные доменные границы неелевского типа обладают сегнетоэлектрическими свойствами [7].

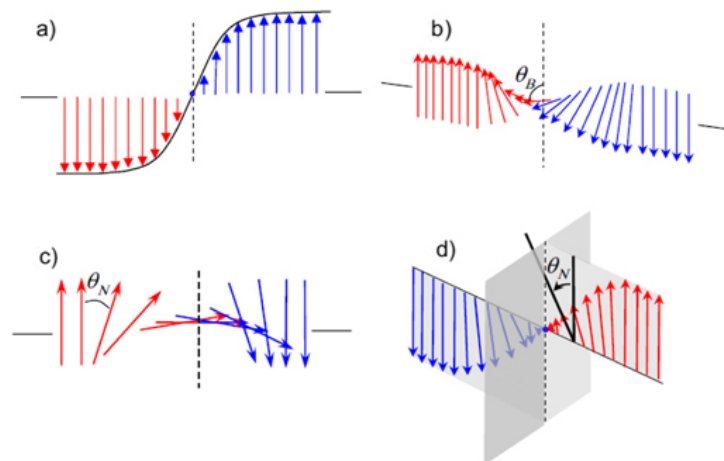


Рис. 1. Доменные границы в сегнетоэлектриках: а - изинговского типа, б - блоховского типа, с - неелевского типа, д - смешанного изинговско-неелевского типа.



а

б



в

Рис. 2. а - Граница Европа-Азия; б - академик А.С. Сигов поддержал традицию; в - “нарушители границы”.

Стоит отметить также богатую культурную программу. Особенно запомнилась участникам экскур-



сия на большую “доменную границу” – к месту водораздела сибирских рек и рек бассейна Волги, по общепринятой договоренности теперь называемой границей между Европой и Азией (рис. 2а). Согласно устоявшейся традиции здесь, стоя на линии раздела, загадывают желания (рис. 2б). Всем участникам конференции, побывавшим на этом месте, был вручен специальный “сертификат нарушителей границы” (рис. 2в).

*А. Пятаков*

1. *K.Tanaka, et al., Jpn. J. Appl. Phys.* **47**, 3311 (2008).
2. *K.Honda, Y.Cho, Appl. Phys. Express* **5**, 036602 (2012).
3. *T.Sluka et al., Nature Commun.* **3**, 748 (2012).
4. *S.Choudhury et al., J. Appl. Phys.* **104**, 084107 (2008).
5. *J.Seidel et al., Nature Mater.* **8**, 229 (2009).
6. *S.Y.Yang et al., Nature Nanotech.* **5**, 143 (2010).
7. *A.S.Logginov et al., Appl. Phys. Lett.* **93**, 182510 (2008).

## КОНФЕРЕНЦИИ

### *Семинар по физике конденсированного состояния, 19 сентября 2012 г.*

(17.00, многофункциональный зал библиотеки физического факультета МГУ, 5 этаж)

Максим Юрьевич Каган (Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН)

“Сверхпроводимость в электронных системах низкой плотности с отталкивающим взаимодействием”

Пропуск на физический факультет слушателей семинара 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 он-лайн трансляцию заседаний через сайт <http://nano.msu.ru/video.php>

Дополнительная информация:

тел. +7(495)939-1151

E-mail: [khokhlov@mig.phys.msu.ru](mailto:khokhlov@mig.phys.msu.ru)

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, О.Коплак,  
М.Маслов, Л.Опенев, А.Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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