

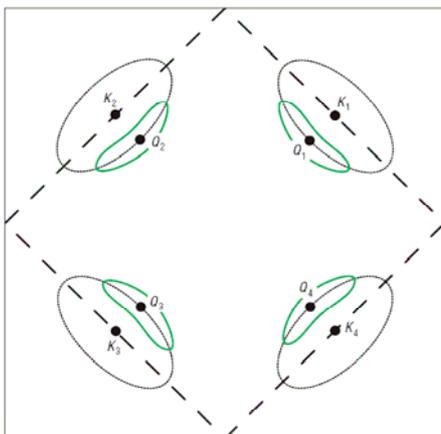
В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### *Алгебраическая зарядовая жидкость в высокотемпературных сверхпроводниках*

Постоянное улучшение качества образцов позволяет получать все более надежные данные о различных характеристиках ВТСП. Но все равно остается еще много неясного. Так, например, эксперименты по фотоэмиссионной спектроскопии с угловым разрешением (ARPES) и эффекту Шубникова – де Гааза (ШдГ) дают противоречивую информацию об электронной структуре нормального состояния недодопированных ВТСП: согласно ARPES, поверхность Ферми разбивается на несвязанные друг с другом сегменты – “фермиевские дуги” [1]. Это указывает на то, что в псевдощелевой фазе сверхпроводящему переходу предшествует исчезновение квазичастиц, то есть нарушается ферми-жидкостная картина. Напротив, наблюдение осцилляций ШдГ [2] свидетельствует о наличии у поверхности Ферми замкнутых эллиптических областей – “карманов”, в соответствии с теорией ферми-жидкости. Размеры этих карманов, однако, существенно меньше, чем можно было бы ожидать для данного уровня допирования, то есть концентрация носителей заряда меньше теоретической.

Для согласованного непротиворечивого объяснения упомянутых экспериментальных фактов американские и канадские физики предложили модель “алгебраической зарядовой жидкости” [3], которая основана на идеях, близких к высказанным Ф. Андерсоном в работе [4] двадцатилетней давности. Ключевыми игроками в этой модели являются нейтральные частицы со спином 1/2 (спиноны) и бесспиновые частицы с зарядом  $e > 0$  (холоны). Они возникают в окрестности критической точки, названной авторами [3] “deconfined critical point”, при спонтанном исчезновении ограничения на связь спина с зарядом. При этом осцилляции ШдГ связаны с небольшими карманами в “холодном металле” (ARPES их “не видит”), а фермиевские дуги (точнее – похожие на них дополнительные карманы) появляются в “холод-дырочном металле”, когда часть холонов связывается со спинонами (см. рис.).



Черные эллипсы и зеленые “бананы” – поверхности Ферми в “холодном металле” и “холод-дырочном металле”, соответственно.

В работе [3] сделано несколько предсказаний, доступных экспериментальной проверке. Заметим, однако, что, по крайней мере, один из ее выводов противоречит уже известному эксперименту, а именно – отрицательному знаку коэффициента Холла [5]. Кто прав, а кто нет – предстоит разобраться.

Кто прав, а кто нет – предстоит разобраться.

И далее ...

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

- 2 Углеродный "нанотрубопровод"  
Легирование полупроводниковых наноструктур
- 3 Влияние типа беспорядка на переход металл-диэлектрик в двумерии

- 4 Наночастицы и ДНК  
Графеновая электроника

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 5 "Пуля" или "баркас"? – углеродные нанотрубки против раковых заболеваний

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 6 Новая волна от D-Wave Systems

## ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

- 7 Хотите иметь стотысячелетнюю память? Выберите РСМ!

## ТОРЖЕСТВО

- 8 15 февраля 2008 г.  
ИФТТ РАН - 45 лет
- 9 Научная сессия ОФН РАН  
27 февраля 2008 г.

1. A.Kanigel et al., *Nature Phys.* **2**, 447 (2006).
2. N.Doyron-Leyraud et al., *Nature* **447**, 565 (2007).
3. R.K.Kaul et al., *Nature Phys.* **4**, 28 (2008).
4. P.W.Anderson, *Science* **235**, 1196 (1987).
5. D.D.LeBoeuf et al., *Nature* **450**, 533 (2007).

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

### Углеродный "нанотрубопровод"

Сразу же после открытия углеродных нанотрубок (УНТ) начался поиск путей соединения их друг с другом с целью конструирования УНТ-структур для различных наноустройств. Речь здесь идет не только об увеличении длины одной отдельно взятой УНТ за счет последовательного соединения нескольких УНТ, но и о создании достаточно сложных разветвленных сеток УНТ, в которых присутствуют Т-образные или Y-образные контакты между УНТ (рис.1). В работе [1] ученые из National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (Цукуба, Япония) предложили новый способ соединения УНТ путем пропускания через них электрического тока. При этом УНТ располагались между двумя электродами (иглой из W и проводом из Pd), на которые подавалось напряжение. Смещение УНТ по всем трем пространственным направлениям контролировали пьезодатчиком с точностью выше 0.5 нм, а непрерывное наблюдение за процессом формирования контактов проводили с помощью просвечивающего электронного микроскопа.

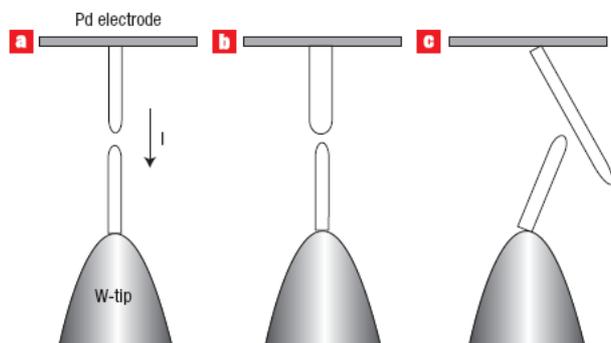


Рис.1. Схематическое изображение трех типов контактов между УНТ: (a) контакт "шапка-к-шапке" между УНТ одинакового диаметра, (b) контакт "шапка-к-шапке" между УНТ разного диаметра, (c) контакт "шапка-к-стенке". Стрелка показывает направление электрического тока.

Самым простым оказалось изготовить контакты "шапка-к-шапке" между одностенными УНТ одинакового диаметра (рис.2): все 13 попыток были успешными. Две УНТ сливались в одну при увеличении  $U$  и  $I$  до 1.6 В и  $\approx 6$  мкА, соответственно, что отвечает плотности тока  $J \approx 7 \cdot 10^8$  А/см<sup>2</sup>. Детали процесса слияния остались невыясненными. Это связано с тем что оно происходит за время  $< 0.5$  с, недостаточное для получения изображения. Тем не менее, наличие воспроизводимых пороговых величин  $U$  и  $I$  указывает на его активационный характер. Действительно, пятиугольники из связей С-С, имеющиеся на шапках УНТ, при слиянии должны

преобразовываться в шестиугольники за счет цепочки последовательных трансформаций Стоуна-Уэльса, энергия активации которых составляет несколько электронвольт. Источником этой энергии является джоулев нагрев до  $(600 \div 1200)$  К и, возможно, процессы электромиграции. После формирования контакта на некотором удалении от него были обнаружены локальные дефекты (рис.2), которые образовались, по-видимому, из-за миграции пятиугольников с шапок УНТ.

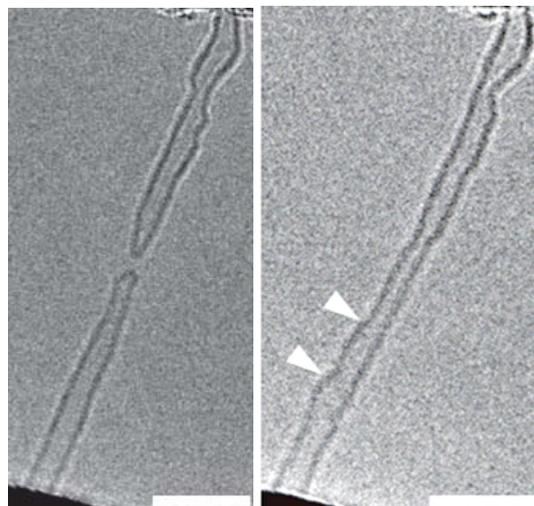


Рис.2. Соединение "шапка-к-шапке" двух однослойных УНТ одинакового диаметра. Изображены исходная и конечная конфигурации. Стрелки указывают на локальные дефекты (выступы), образовавшиеся в процессе формирования контакта. Длина масштабной линейки 5 нм.

Для "шапка-к-шапке" соединения УНТ с различными диаметрами (например, 2 и 3.2 нм) пропускать через них ток оказалось недостаточно. Поэтому в УНТ были внедрены наночастицы W, которые, двигаясь под действием тока к области контакта, способствовали переориентации сетки связей С-С на шапках и формированию гладкой "перемычки" между УНТ, то есть фактически играли роль катализаторов, понижающих активационный барьер. Сами частицы W при этом оставались в твердом (или "квазитвердом") состоянии. А вот добиться воспроизводимых результатов при изготовлении контактов "шапка-к-стенке" (рис. 1c) не удалось: из 8 попыток только одна оказалась успешной. И все же развитая в [1] методика существенно расширяет наши возможности по созданию разнообразных УНТ-структур. Кроме того, ее можно использовать для "залечивания" механических повреждений, возникающих в процессе работы устройств на основе УНТ.

Л.Опенев

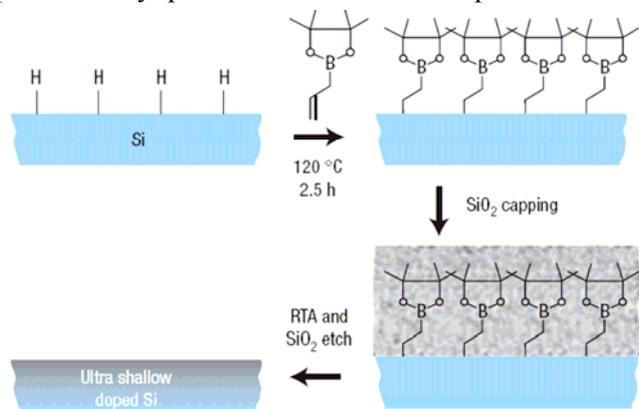
1. C.Jin et al., *Nature Nanotechnol.* **3**, 17 (2008).

### Легирование полупроводниковых наноструктур

Для практического использования полупроводниковых наноструктур в различных электронных устройствах необходимо научиться добавлять в полупроводники донорные и акцепторные примеси так,

ПерТ, 2008, том 15, выпуск 3

чтобы они были однородно распределены на масштабе нескольких нанометров, и чтобы при этом можно было с хорошей точностью контролировать их концентрацию. Известные методы, такие как ионная имплантация и твердотельная диффузия, не позволяют этого добиться. В работе [1] сотрудники University of California at Berkeley и Lawrence Berkeley National Laboratory предложили новый способ “нанолегирования” кремния. Он заключается в следующем. На поверхность кристалла Si наносят монослой органических молекул, содержащих атомы легирующего элемента (например, бора при дырочном легировании или фосфора при электронном легировании). Толщина такого монослоя составляет около 1 нм. Затем проводят быстрый (несколько секунд) термический отжиг при температуре около 1000 °С, в результате чего молекулярные структуры разрушаются, и примесные атомы проникают в Si. Профиль распределения примесей по глубине регулируется температурой и длительностью отжига, а их концентрация – химическим составом материала монослоя и размером его молекул (чем он меньше, тем больше концентрация). Авторы [1] с успехом использовали этот метод для легирования нанопроводов Si толщиной около 30 нм, а также для изготовления полевых транзисторов в структурах кремний-на-изоляторе. В принципе, он применим и к другим типам полупроводников, позволяя контролировать электрические характеристики разнообразных полупроводниковых наноматериалов.



Схематическое изображение процесса легирования кремниевой подложки бором из органического монослоя, который наносят после стравливания поверхностного слоя SiO<sub>2</sub>. Здесь RTA – стадия быстрого термического отжига (rapid thermal annealing).

Л. Опенов

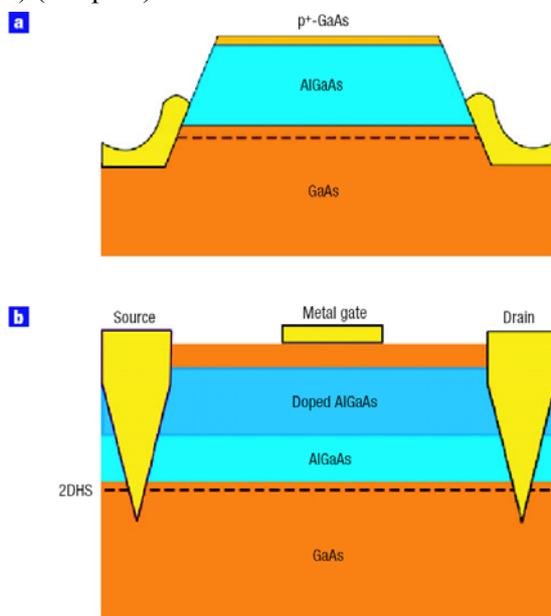
1. J.C.Hor et al., *Nature Mater.* 7, 62 (2008).

### Влияние типа беспорядка на переход металл-диэлектрик в двумерии

До сих пор отсутствует единое мнение по вопросу о том, может ли основное состояние двумерной электронной системы быть металлическим. Согласно однопараметрической скейлинговой теории локализации [1] – нет, не может, даже при сколь угодно слабом атомном беспорядке. Но далеко не все эксперименты подтверждают это предсказание [2]: во мно-

гих двумерных (точнее, квазидвумерных) образцах с небольшим числом дефектов наблюдалось уменьшение удельного сопротивления  $\rho$  при охлаждении до очень низких температур. Однако и здесь нет никаких гарантий, что при дальнейшем понижении температуры  $\rho$  не начнет вновь возрастать и основное состояние не окажется диэлектрическим.

Теория в ее первоначальном варианте [1] не принимала во внимание эффекты электрон-электронного взаимодействия. Их учет [3,4] в принципе позволяет объяснить металлизацию двумерных систем при охлаждении. Оказывается, что знак соответствующей поправки к проводимости определяется величиной безразмерного коэффициента  $F_s^\sigma$ , который, как ожидается, монотонно зависит от силы межчастичного взаимодействия  $r_s$ , пропорциональной эффективной массе носителей и обратно пропорциональной корню квадратному из их концентрации. Многочисленные попытки определить величины  $F_s^\sigma$  в материалах с различными  $r_s$  путем сравнения экспериментальных данных с теорией [4] привели, однако, к неоднозначным и противоречивым результатам: четкой корреляции между  $F_s^\sigma$  и  $r_s$  обнаружить не удалось. Причины этого выявлены в работе [5] нескольких групп из Австралии, Японии и Великобритании. Показано, что большую роль играет тип рассеивающего потенциала, который может быть как короткодействующим (обусловленным, например, шероховатостью границы раздела слоев гетероструктуры), так и дальнедействующим (связанным с ионизированными примесными атомами) (см. рис.).



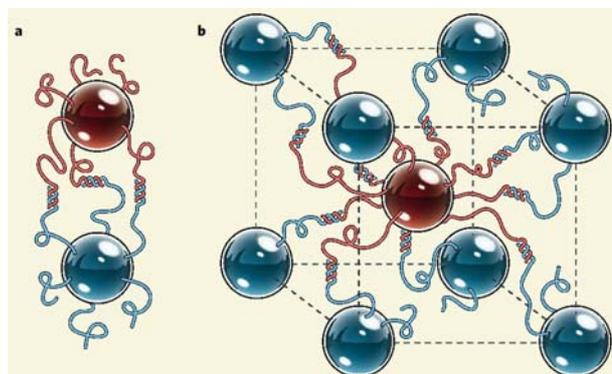
Схематические изображения двух различных типов гетероструктур на основе GaAs, использующихся при исследовании транспортных характеристик двумерных электронных систем: (a) полевой транзистор полупроводник-диэлектрик-полупроводник (SISFET) и (b) транзистор с высокой подвижностью дырок (NHMT). Рассеивающий потенциал является короткодействующим в (a) и дальнедействующим в (b).

Для одного и того же значения  $r_s$  величина  $F_s^\sigma$  во втором случае гораздо меньше, чем в первом, поскольку вероятность возврата частицы в исходную точку за время, не превышающее транспортное время свободного пробега, невелика из-за преобладания малоуглового рассеяния (и соответствующая поправка к проводимости оказывается меньше). А теория [4] формулировалась именно для короткодействующего потенциала. Пересчет известных опубликованных данных показал, что при правильном определении  $F_s^\sigma$  зависимость  $F_s^\sigma$  от  $r_s$  описывается единой универсальной кривой, так что поправка к проводимости положительна (металлическое состояние при  $T \rightarrow 0$ ) для  $r_s > 5$  и отрицательна для  $r_s < 5$ . Таким образом, в одних образцах переход металл-диэлектрик действительно есть, а в других – нет.

1. E.Abrahams et al., *Phys. Rev. Lett.* **42**, 673 (1979).
2. E.Abrahams et al., *Rev. Mod. Phys.* **73**, 251 (2001).
3. C.Castellani et al., *Phys. Rev. B* **30**, 527 (1984).
4. G.Zala et al., *Phys. Rev. B* **64**, 214204 (2001).
5. W.R.Clarke et al., *Nature Phys.* **4**, 55 (2008).

### Наночастицы и ДНК

Одной из задач нанотехнологии является “сборка” новых материалов из различных наночастиц. Ожидается, что такие материалы будут обладать уникальными электронными и оптическими свойствами. Авторы работ [1] и [2], не зависимо друг от друга, продемонстрировали возможность изготовления упорядоченных трехмерных массивов наночастиц золота, связанных друг с другом посредством длинных молекул ДНК. Наночастицы имели форму, близкую к сферической. Их диаметр составлял около 10 нм. “Наночастичный кристалл” формировался спонтанно при нагреве до определенной температуры, причем в зависимости от величины этой температуры он имел либо объемноцентрированную, либо гранецентрированную кубическую решетку, в узлах которой располагались не атомы (как в обычном твердом теле), а наночастицы, (см. рис.).



Элементарная ячейка объемноцентрированной кубической решетки из наночастиц Au, соединенных между собой посредством молекул ДНК.

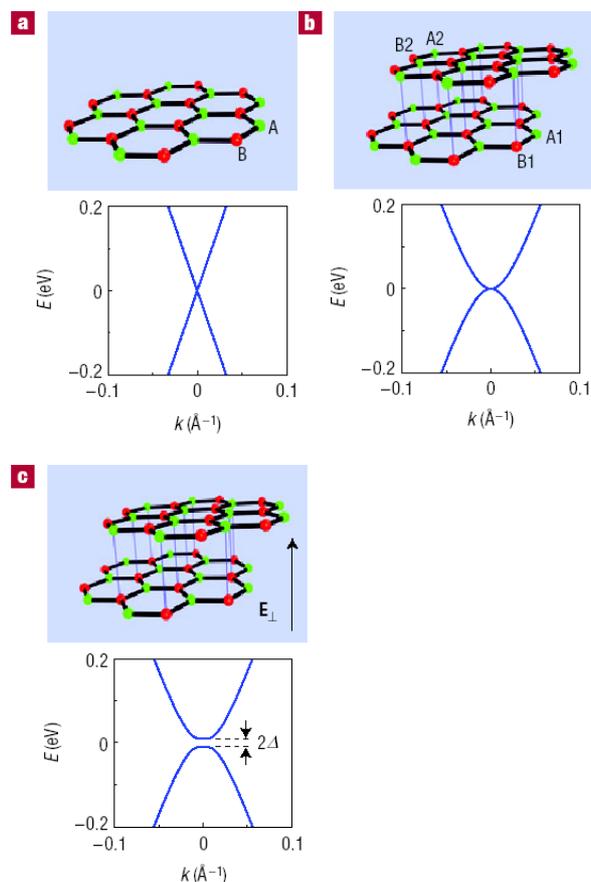
Они занимали всего лишь  $\approx 4\%$  объема образца, то есть кристалл получался очень “рыхлым”. При термоциклировании периодичность в расположении наночастиц исчезала и появлялась обратимым обра-

зом. Представляется заманчивым попытаться использовать ДНК для “склеивания” и других, в том числе несферических наночастиц. Если удастся отработать методику избирательного прикрепления ДНК к тем или иным граням, это откроет путь к синтезу гораздо более сложных структур с направленными связями между наночастицами. Такие материалы могут использоваться в солнечных батареях, лазерах, микроскопах высокого разрешения и даже ... в специальных покрытиях, делающих материальные объекты невидимыми.

1. D.Nykypanchuk et al., *Nature* **451**, 549 (2008).
2. S.Y.Park et al., *Nature* **451**, 553 (2008).

### Графеновая электроника

Высокая подвижность носителей заряда ( $\sim 10^4 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$  при комнатной температуре – на порядок больше, чем в кремнии) наряду со сравнительно низкой стоимостью изготовления делает графен перспективным материалом для использования в нанoeлектронных устройствах нового поколения. Однако на пути к “графеновой электронике” предстоит решить ряд серьезных проблем, одной из которых является отсутствие в графене энергетической щели между зоной проводимости и валентной зоной (графен – бесщелевой полупроводник). По этой причине проводимость графена нельзя “выключить”, подав напряжение на соответствующие электроды, как в обычных транзисторах.



Законы дисперсии электронов в однослойном (a) и двухслойном (b,c) образцах графена. (b) – без поля, (c) – с полем.

Голландские физики из Delft University of Technology нашли простой выход из ситуации [1]. Они исследовали двухслойные графеновые образцы и показали, что при наличии перпендикулярного к ним электрического поля  $E_{\perp}$  в электронном спектре открывается щель (см. рис.). Этот эффект обусловлен различием (при  $E_{\perp} \neq 0$ ) “узельных” энергий электронов на атомах, расположенных в разных слоях. Таким образом, проводимость можно регулировать за счет изменения электрического потенциала на образце (положение уровня Ферми при этом контролируется другим электродом). Эксперименты проведены при низких температурах. Для практических целей желательно, конечно, научиться манипулировать проводимостью графена при комнатной температуре. Результаты работы [1] можно использовать в фундаментальных исследованиях (например, изготавливать из графена квантовые точки и квантовые точечные контакты).

*Л. Опенов*

*1. J.V.Oosting et al., Nature Mater. 7, 151 (2008).*

## **ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ**

### **«Пуля» или «баркас»? – углеродные нанотрубки против раковых заболеваний**

Противораковые препараты на основе платины (например, **цисплатин**  $cis\text{-}[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ , или  $cis\text{-}diamminedichloroplatinum(II)$ ) хорошо известны в медицине. Однако их применение ограничено из-за нежелательных побочных эффектов. Основной недостаток современной химиотерапии – неизбежность повреждения здоровых клеток токсичными препаратами. Сейчас большинство лекарств вводится внутривенно, и дополнительные вредные эффекты могут быть обусловлены еще и растворителем, с которым смешивают лекарство. Влияние побочных эффектов можно минимизировать в случае аккумуляции платины исключительно в нужных органах или клетках.

Концепцию «магической пули», то есть лекарства, избирательно поражающего болезнетворную мишень и не причиняющего вреда организму, предложил около 100 лет назад Пауль Эрлих (Paul Ehrlich), основатель химиотерапии\*. Конечно, добиться такой исключительной избирательности очень трудно. Одно из современных представлений таково: нанокapsулы с лекарством внутри и химическими рецепторами на внешней поверхности достигают определенного места, где и выделяют лекарство в ответ на изменение окружающих условий, которое чувствуют рецепторы. Неудивительно, что большие надежды возлагаются на новые носители лекарственных средств – одностенные углеродные нанотрубки (ОСНТ) и другие углеродные наноматериалы, например, одностенные нанорожки (ОСНР).

Прежде чем говорить о перспективах использования углеродных наноматериалов как носителей лекарственных средств, вспомним еще раз, какие требова-

ния должны выполняться, чтобы лечение было эффективно и не вызывало побочных эффектов:

- желательно, чтобы доза лекарства была минимальной;
- оболочка нанокapsулы должна быть биосовместимой, не токсичной;
- лекарство должно быть доставлено точно в цель;
- кроме того, лекарство должно выделяться достаточно медленно и в активной форме, чтобы обеспечить терапевтический эффект, но не вызывать побочных;
- и, очень важная, но часто не рассматриваемая проблема, - что будет с «доставщиком» лекарства потом? а не навредят ли организму застрявшие в нем «курьеры»?

Эти вопросы изучаются, в основном, медиками, биологами, химиками. Но, как справедливо отмечают австралийские исследователи [1], чтобы успешно применить углеродные наноматериалы в медицине, необходимо привлечь методы математического моделирования. Это поможет разработать такой носитель, в который молекуле лекарства будет энергетически выгодно внедриться, а после срабатывания химического «спуска», например изменения условий окружения вблизи нужного места, - выйти из него. Авторы [1] впервые представили данные математического моделирования «магических пуль», правда, предварительные и относящиеся только к инкапсулированию или всасывающей способности. (Выброс молекулы лекарства из углеродной нанотрубки – очень сложное явление, тем более, что это происходит в клетке, - и его ученые пока не рассматривали). Конкретное лекарство, которое использовано при моделировании [1] – это упомянутое выше противораковое средство цисплатин. Показано, что для всех трех возможных ориентаций цисплатина минимальный диаметр нанотрубки должен составлять 0,4785 нм (немного меньше, чем у (9,5) нанотрубок). Максимальная всасывающая способность по результатам [1] должна быть у нанотрубки с диаметром примерно 0,53 нм, что соответствует (11,4) нанотрубке. Ученые полагают, что представленный ими подход можно распространить и на другие молекулы. Главная цель работы – указать исследователям в области медицины направление будущих экспериментов и моделирования.

Хотя в качестве оболочки нанокapsулы, в основном, используются нанотрубки, нельзя не сказать о том, что все более популярными становятся одностенные нанорожки (ОСНР). ОСНР имеют диаметр 2-5 нм, длину 30-50 нм. Как известно, они образуют агрегаты (похожие на наногорюны) диаметром 30-120 нм, что дает определенные преимущества при сорбции различных веществ. Кроме того, ОСНР, как правило, имеют высокую чистоту. Нанорожки могут быть получены методом лазерной абляции без применения катализаторов. Хотя эти «пули» более крупные, чем отдельные нанотрубки, их размер

удовлетворяет биомедицинским требованиям. Японские ученые [2] считают нанорожки перспективными носителями лекарств. В своей работе они экспериментально определили оптимальные условия внедрения цисплатина в ОСНР. Отверстия в ОСНР были открыты при медленном нагревании материала в сухом воздухе до 475-580°C. Затем ОСНР смешивали с раствором цисплатина; растворитель постепенно испарялся в потоке азота при комнатной температуре. В лучший образец (температура нагрева 500°C) было инкапсулировано 12 вес.% лекарства. Дальнейшие эксперименты (диализ) показали, что лекарство медленно (в течение 50 ч.) выделяется в фосфатный буферный солевой раствор, при этом доля выделившегося цисплатина достигает 80%. Это гораздо лучше прежнего результата (15%), полученного при другой обработке ОСНР (открытие отверстий при быстром нагреве), и показывает возможность использования в биологии и медицине.

Несмотря на привлекательность концепции «магической пули» - углеродной нанокapsулы с лекарством внутри - ученые не исключают и другие возможности. Так, в работе американских исследователей [3] выплыл баркас из одностенной углеродной нанотрубки. Такая система доставки состоит из «грузоперевозчика» - функционализированной растворимой одностенной нанотрубки, которая переправляет присоединенные к ней более мелкие молекулы лекарства через клеточную мембрану в клетку.

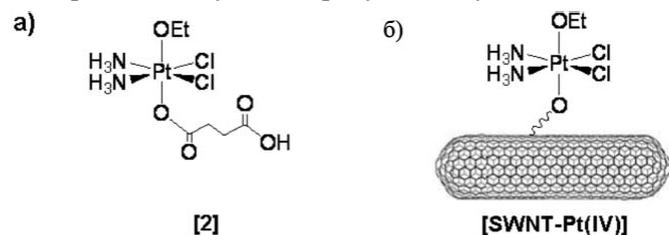


Рис. 1. а) Комплекс Pt (IV), б) комплекс Pt (IV) привязанный к ОСНТ.

Авторы [3] приготовили нетоксичный комплекс платины (IV) (рис.1а) и «привязали» его к аминокислотной функционализированной ОСНТ (рис.1б). По данным атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) каждая ОСНТ – «баркас» - везет за собой груз, содержащий в среднем 65 центров платины (IV).

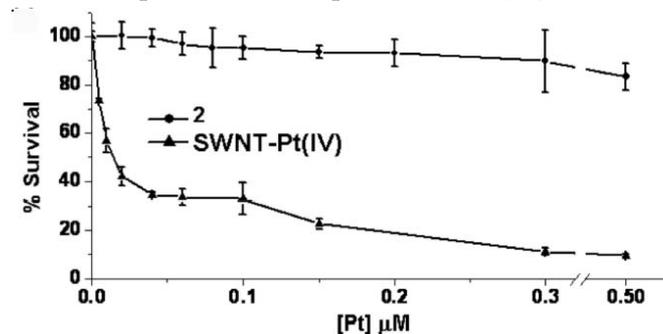


Рис.2. Жизнеспособность клеток опухоли (%) при четырехдневном воздействии свободного комплекса Pt (IV) и аналогичного комплекса, присоединенного к ОСНТ.

Результаты специальных экспериментов, проведенных на клетках опухоли, подтвердили, что сам по себе комплекс не является цитотоксичным (так же, как и отдельно ОСНТ – перевозчик). Однако воздействие комплекса, присоединенного к ОСНТ, резко возрастает, как видно из рис.2. Дело в том, что в клетке опухоли, где pH среды заметно ниже, из комплекса происходит выделение того самого противоракового лекарства цисплатина путем восстановления и сопутствующей потери лигандов, связанных с ОСНТ. Данные ААС показали высокую концентрацию платины в клетках – даже больше, чем при использовании непосредственно цисплатина. Таким образом, ОСНТ могут служить эффективным транспортным средством, доставляющим так называемые пролекарства на основе платины. Этот метод подходит для всех комплексов Pt(IV), у которых на аксиальных лигандах есть функциональные группы, способные связываться с одним из многих видов функционализированных нанотрубок. В клетке из них путем восстановления выделяются активные соединения Pt(II). А если добавить к ОСНТ в качестве «лоцманов» дополнительные группы, «нацеливающие» на определенные раковые клетки, можно добиться высокой селективности, необходимой для клинических испытаний.

\*П.Эрлих (1854-1915) – немецкий ученый, лауреат Нобелевской премии 1908 г. по медицине и физиологии «за работу по теории иммунитета» (совместно с русским ученым И.И. Мечниковым)

О.Алексеева

1. T.A. Hilder et al. *Nanotechnology* **18**, 275704 (2007).
2. K. Ajima et al. *J. Phys. Chem. B* **110**, 19097 (2006).
3. R.P. Feazell et al. *J. Am. Chem. Soc.* **129**, 8438 (2007).

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### Новая волна от D-Wave Systems

Компания D-Wave Systems, которая весной прошлого года неожиданно вышла на рынок со своим квантовым компьютером, состоящим из 16 сверхпроводниковых кубитов, в конце прошлого года объявила об изготовлении и опробовании 28-кубитного компьютера [1]. Отдавать его в чужие руки она не собирается, но предлагает на коммерческой основе использовать его вычислительные возможности on-line. Желаящие могут с его помощью решать те или иные задачи. Компания заявила о своем намерении изготовить 512 кубитов к середине этого года и 1024 кубита - к концу. А это уже полномасштабный квантовый компьютер, способный решать практически важные задачи.

К сожалению, хозяева не собираются на этом компьютере реализовывать алгоритм Шора разложения числа на простые множители. Именно эта задача имеет экспоненциально большую сложность при решении на классических компьютерах. Ее решение на квантовом компьютере получает экспоненциальное ускорение. Успешное решение этой задачи убе-

дительно доказало бы всем, что компьютер D-Wave Systems, в самом деле, работает в квантовом режиме. Без этого у мирового научного сообщества сохраняются подозрения, что вся эта затея является авантюрой, направленной на то, чтобы успокоить инвесторов, которые вложили в этот проект немалые деньги (десятки миллионов долларов). Известно, что любой даже настоящий квантовый компьютер можно использовать в классическом режиме, когда квантовые биты (кубиты) в нем работают попросту, как классические биты. Не требуются суперпозиционные состояния нуля и единицы в кубитах, не требуются и запутанности кубитов. Правда, в настоящее время эти сверхпроводниковые биты гораздо быстрее кремниевых, их частота достигает 700 ГГц, однако, их малое количество не позволяет соперничать с современными кремниевыми компьютерами, да и по оценкам частота кремниевых транзисторов вполне может в ближайшем будущем достичь до 1 ТГц.

В создавшейся ситуации работает магия рекламы. Генеральный директор компании D-Wave Systems Н. Martin заявляет, что возможность обойти конкурентов в области квантовых компьютеров возникла благодаря тому, что они используют самый новый и прогрессивный прием организации квантовых вычислений – адиабатические квантовые вычисления. В процессе расчетов система находится очень близко к основному состоянию. Ниже, как говорится, падать некуда. Однако существуют возбужденные состояния. Необходимо обеспечить достаточный энергетический зазор между ними и основным состоянием. А это задача не из легких. Она сродни задаче получения сверхпроводящего состояния.

*В. Вьюрков*

*1. Superconductor Week, 21, 2 (2007).*

## **ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК**

### ***Хотите иметь столетнюю память? Выбирайте РСМ!***

Через 40 лет после регистрации своих основополагающих патентов (1966 и 1969 г.г.) в области электронных устройств на основе халькогенидных стекол, способных под воздействием нагрева обратимо переходить из одного фазового состояния (аморфного) с высоким электрическим сопротивлением в другое (кристаллическое) с низким сопротивлением Стэнфорд Овшинский все же дождался «своего часа». С. Овшинский впервые исследовал свойства халькогенидных стекол в 1960 г. Он основал компанию Ovonyx, которая выпускала небольшие партии радиационно-стойких схем для космических применений. Реально Овшинский стал собирать относительно обильный урожай со своих патентов только после 2000 г., когда стало ясно, что у флэш-памяти возникли проблемы с дальнейшим масштабированием за пределы 32 нм. По оценкам, приборы Овшинского могут иметь минимальный размер до 5 нм.

*ПерсТ, 2008, том 15, выпуск 3*

Лицензионные соглашения на использование технологии Овшинского приобрели ведущие изготовители запоминающих устройств: Intel, STMicroelectronics, Nanochip, Samsung, Qimonda, Hynix. Технология стала развиваться дальше – в течение 2002-2005 г.г. патенты на различные варианты РСМ зарегистрировали Macronix, Toshiba, Hitachi, Macronix, Renesas, Elpida, Sony, Matsushita, Mitsubishi, Infineon и др. На сегодня прототипы РСМ продемонстрировали Samsung (512 Мб), IBM совместно с Macronix и Qimonda (у них – прототип с размером «запоминающего» островка 3x20 нм), а также совместно Intel и STMicroelectronics (128 Мб).

Для изготовления памяти на фазовых переходах РСМ (phase-changed memory) используют халькогенидное стекло на основе сплава антимонида и теллурида германия GeSbTe, сокращенно, GST. Поддержание любой из фаз (аморфной или кристаллической) не требует электрической мощности, поэтому такая память является энергонезависимой. Переключение между фазами в разных вариантах осуществляют при нагреве либо лазерным излучением, либо электрическим током.

Intel включилась в разработки РСМ в 2000 г., STMicroelectronics – в 2001 г., а с 2003 г. компании работают совместно. Как результат, Intel и STMicroelectronics в начале февраля с.г. заявили о поставках выбранным потребителям первых прототипов РСМ емкостью 128 Мб, получивших кодовое название "Alverstone". Alverstone является аналогом NOR флэш, но имеет лучшее быстродействие при более низкой потребляемой мощности и, возможно, в перспективе – значительно более низкую стоимость. Будет ли затем организовано серийное производство, зависит от реакции потребителей на тестирование первых образцов. Alverstone, очевидно, станет основным продуктом Numonyx, новой независимой компании, созданной по соглашению между STMicroelectronics, Intel и инвестиционной компанией Francisco Partners [1].

Nanochip, основанная в 1996 г., разрабатывала кремниевые запоминающие устройства с гигабайтной емкостью, использующие для записи/считывания матрицы нанозондов. В 2004 г., приобретя лицензию у Ovonyx Inc., Nanochip переключилась с кремния на тонкие халькогенидные пленки в качестве запоминающей среды, а для записи и считывания информации – на систему из миллионов электрических зондов, используя для их микроперемещения устройство Hewlett-Packard, позволяющее позиционировать зонды на подложке с точностью 3 нм. В перспективе такая конструкция позволит создать память с емкостью до десятков терабит [2].

Nanochip планирует начать поставлять первые прототипы для потребителей в 2009 г., а приступить к массовому производству в 2010 г. Для потенциальных чипов емкостью 1 Тб размер ячейки для хранения бита составит 2x3 нм<sup>2</sup>, а для прототипа 100 Гб-

чипа, планируемого к поставкам в 2010 г., – 15x15 нм<sup>2</sup>. По предварительным оценкам, компания сможет удваивать емкость ЗУ на чипе каждый год за счет улучшения качества запоминающей среды и увеличения числа кантилеверов в считывающей головке. Nanochip является держателем 7 патентов, относящихся к фазовой памяти.

Спонсорами Nanochip являются компании Intel и Microsoft Corp. Intel поддерживает разработки компании Nanochip, инвестировав в 2006 г. 10 млн. долл., а в текущем году - 14 млн. долл. на завершение изготовления первых прототипов и проведение их тестирования [3].

Исследователи из University of Pennsylvania (США) предприняли попытку приготовить Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> нанопроволоки методом самосборки, кристаллизуя на кремниевой подложке химические реактивы при низкой температуре в присутствии металлического катализатора. Сопротивление нанопроволок в кристаллической фазе было низким (12,5кОм), а в аморфной – высоким (1,6 МОм). Запись данных осуществляли приложением короткого электрического импульса (0.4 мА, 100 нс), чтобы нагревом перевести кристаллические нанопроволоки в аморфные. Для стирания данных прикладывали другой импульс с меньшей амплитудой (0,14 мА), но с большей длительностью (300 нс). Мощность, требуемая для этой перестройки решетки в случае нанопроволок, была в 10 раз меньше, чем в «фазовой» памяти, прототипы которой выпускаются компаниями в настоящее время. Запись и считывание можно осуществлять с очень большими скоростями (менее 50 нс) и при чрезвычайно низкой потребляемой мощности (0,7 мВт). Эти энергонезависимые приборы предназначены для замены флэш-памяти, широко используемой в портативных электронных устройствах. Она также может заменить динамическую (DRAM) и статическую (SRAM) оперативную память в обычных компьютерах, теряющих несохраненные данные при отключении питания. Загрузку компьютера в таком случае можно будет осуществлять за несколько секунд [4].

Станут ли РСМ мэйнстримом или его частью? Al Fazio, руководитель разработок запоминающих устройств компании Intel говорит – «Фазовая память? Возможно! Но трудности остаются. В ближайшие несколько лет мэйнстримом останется полупроводниковая флэш-память. РСМ все еще относится к категории «будущих технологий» [5].

По сведениям от Intel, РСМ выдерживает 100 млн. циклов запись-считывания и может хранить информацию в течение 10 лет. Один из авторов [4], R.Agarwal в интервью журналу Materials Today сообщил, что у фазовой памяти на нанопроволоках очень большой потенциал – в этих чрезвычайно маленьких нанопроволоках данные могут сохраняться до 100 тысяч лет. Конечно, мало кто из живущих сейчас дождет результатов экспериментальной

проверки последнего утверждения. Но сохраняется шанс проверить, осуществится ли план компании Nanochip - 100 Гб зондовая РСМ в 2009 г. [6].

1. <http://www.eetimes.com/news/semi/showArticle.jhtml?articleID=206105237&pgno=1>
2. <http://www.eetimes.com/news/semi/showArticle.jhtml?articleID=205907607>
3. <http://www.semiconductor.net/article/CA6525747.html>
4. *Materials Today*, **10**, no 11, 13, (2007)
5. <http://www.semiconductor.net/article/CA6516457.html?desc=topstory>
6. <http://eetimes.eu/semi/197800524?pgno=1>

## ТОРЖЕСТВО

### *15 февраля 2008 г. Институту физики твердого тела РАН исполняется 45 лет*

Институт физики твердого тела - один из крупнейших институтов в Российской академии наук. ИФТТ сочетает фундаментальные и практические ориентированные исследования в приоритетных направлениях физики конденсированного состояния, физическом материаловедении, высоких технологиях. Результаты экспериментальных и теоретических исследований, полученные в лабораториях института способствуют развитию новых технологий и разработке перспективных материалов.

В ИФТТ РАН развиваются самые разнообразные научные направления, поддерживается совместная работа людей разных специальностей и поколений. В институте царит дух демократических традиций, выработанных еще в годы становления ИФТТ. Позволим себе процитировать Научного руководителя института, академика Ю.А.Осипьяна: «В деле организации науки (подчеркиваю - науки, а не техники) право на свободу творчества, возможность полностью раскрыть себя я считаю главным условием. Над теми, кто занимается фундаментальными исследованиями, стоять с хронометром, отмечая время прихода и ухода – нелепость. По крайней мере, в нашем институте такие вопросы не возникают. Как не возникают вопросы с ограничением тематики исследований. Мы знаем, кто чем занимается, кто за какое направление отвечает. Но, если помимо основной темы ученый столкнулся с заинтересовавшим его явлением, если он чувствует его перспективность, значимость, никто не посмеет одернуть его: мол, распыляетесь, вернитесь к своим обязанностям. Обязанность ученого и исследователя – думать. Чем масштабнее, тем лучше и для него, и для института, и для науки в целом».

Поздравляем коллектив ИФТТ РАН со славной годовщиной! Творческих успехов, новых свершений и открытий!

**Научная сессия ОФН РАН**

**27 февраля 2008 года**

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН  
(Ленинский просп., 53, главное здание, 3 этаж)

**Программа**

1. Лозовик Ю.Е. (ИС РАН)  
Электронные свойства графена и графеновых наноструктур
2. Морозов С.В. (ИПТМ РАН), Новоселов К.С.,  
Гейм А.К. (Манчестерский университет)  
Электронный транспорт в графене

Web: [www.gpad.ac.ru](http://www.gpad.ac.ru)

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

Ответственный 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, В.Вьюрков, Л.Опенев

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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