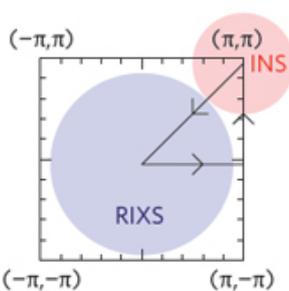


В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Магнитные возбуждения в купратных ВТСП

Кулоновское отталкивание подвижных электронов позволяет естественным образом объяснить необычную (d -волновую) симметрию параметра сверхпроводящего порядка в купратных ВТСП. Но пока остается неясным, может ли такое отталкивание само по себе приводить к высокотемпературной сверхпроводимости (с теоретической точки зрения это необычайно сложная задача: даже сильно упрощенные микроскопические модели не допускают полного решения). В рамках более прагматичного подхода вопрос ставится несколько иначе: возможно ли куперовское спаривание за счет обмена спиновыми флуктуациями (являющимися следствием кулоновского взаимодействия) – по аналогии с обменом фононами в обычных сверхпроводниках. Исследования неупругого рассеяния нейтронов (inelastic neutron scattering, INS) действительно свидетельствуют о наличии в оптимально допированных (имеющих максимальную критическую температуру T_c) купратах спиновых возбуждений с энергией 30 – 70 мэВ. Однако проинтегрированная по импульсу и энергии интенсивность этих возбуждений (спектральный вес) оказывается очень малой – всего несколько процентов от спектрального веса спиновых волн в родительских антиферромагнитных диэлектриках. Этого не хватает для спаривания, что является одним из основных аргументов противников гипотезы о магнитном механизме сверхпроводимости ВТСП.



Области импульсного пространства, доступные исследованию методами INS и RIXS.

Недостатками INS являются малая величина сечения рассеяния нейтронов и недостаточная интенсивность доступных в настоящее время нейтронных пучков. Как следствие, для INS доступны спиновые возбуждения лишь в области порядка 10 % зоны Бриллюэна. Это и может

быть причиной непреднамеренной “потери” спектрального веса в экспериментах по INS. В работе [1] (Германия, Италия, Канада, Швейцария) для исследования магнитных возбуждений в ВТСП использована другая методика – резонансное неупругое рассеяние рентгеновских лучей (resonant inelastic X-ray scattering, RIXS). Она позволяет “прозондировать” почти всю зону Бриллюэна (см. рисунок). При этом в отличие от INS, для RIXS не требуются большие монокристаллы и подходят даже тонкие пленки. С помощью RIXS в [1] была изучена дисперсия сильно затухающих магнитных возбуждений – парамагнонов – в $YBa_2Cu_3O_{6+x}$, $YBa_2Cu_4O_8$ и $Nd_{1.2}Ba_{1.8}Cu_3O_{6+x}$ с различной концентрацией дырок (от недодопированных до передопированных составов). Оказалось, что дисперсия парамагнонов очень слабо зависит от уровня допирования и практически такая же, как у магнонов в родительских антиферромагнетиках. Причины этого не вполне ясны. Численное решение

И далее ...

НАНОМАТЕРИАЛЫ

2 Поликубан

Полупроводниковые наномембраны

ГРАФЕН

2 Азот в графене

3 Графеновые наноленты для квантовых проводов

Пузыри из графена

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

4 Intel продлевает закон Мура

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

4 Электронный серфинг

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

5 Углеродные нанотрубки и заболевания мозга

6 Баки-металлоцены в углеродной нанотрубке

7 Плотный массив углеродных нанотрубок в качестве источника полевой ионизации атомных частиц

КОНФЕРЕНЦИИ

8 I Национальная конференция по прикладной сверхпроводимости (НКПС-1), 6 - 8 декабря 2011, Москва, НИЦ “Курчатовский институт”

I Международный конгресс по инновациям “Эффективное управление: создание единого инновационного пространства Россия – Европейский союз”, 15 - 17 ноября 2011, Москва, Россия

уравнений Элиашберга с использованием полного экспериментального спектра спиновых флуктуаций дает $T_c \approx 170$ К для $YBa_2Cu_3O_7$.

Л.Опенев

1. M. Le Tacon et al., *Nature Phys.* 7, 725 (2011).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Поликубаны

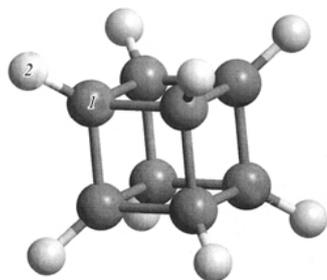


Рис. 1. Кубан C_8H_8 . 1 – атомы углерода, 2 – атомы водорода.

В углеводородном кубане C_8H_8 (рис. 1) связи С-С образуют нехарактерный (и энергетически невыгодный) для углеродных систем угол 90° . Это становится возможным благодаря стабилизации кубического остова атомами водорода. Кластеры C_8H_8 отличаются высокой термической устойчивостью и даже способны формировать молекулярный кристалл – твердый кубан $s-C_8H_8$ с температурой плавления значительно выше комнатной. Расчеты из первых принципов показывают [1], что увеличение количества кубов C_8 в углеродном каркасе должно приводить к образованию метастабильных (отвечающих локальным минимумам энергии) кластеров $C_{4+4n}H_8$ с $n \geq 2$ – поликубанов (рис. 2). Поликубан с $n \gg 1$ фактически представляет собой нанотрубку (точнее – “нанобрусок”) с квадратным поперечным сечением, которая получается из обычной нанотрубки (2,2) путем соответствующей деформации [2].

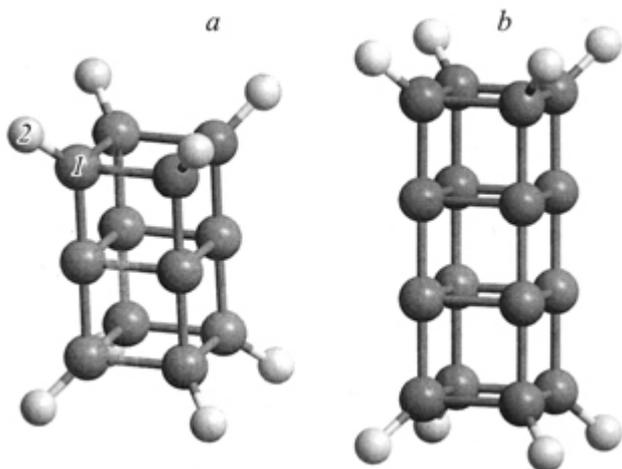


Рис. 2. Бикубан $C_{12}H_8$ (a) и трикубан $C_{16}H_8$ (b).

Однако выполненное недавно компьютерное моделирование динамики поликубанов при различных температурах [3] показало, что энергия активации их распада E_a быстро уменьшается с ростом n (от 1.9 эВ при $n = 1$ до 0.07 эВ при $n = 5$). Поэтому время жизни метастабильного состояния при комнатной температуре (оцененное в [3] по формуле Аррениуса с использованием найденных значений E_a и частотного фактора) катастрофически падает (от $\sim 10^{16}$ с при $n = 1$ до ~ 10 мс при $n = 2$ и ~ 0.1 пс при n

$= 5$). Следовательно, “квадратные нанотрубки” в обычных условиях не существуют. А вот времена жизни бикубана $C_{12}H_8$ и трикубана $C_{16}H_8$ при температуре жидкого азота оказываются макроскопическими ($\sim 10^{35}$ с и $\sim 10^9$ с соответственно), поэтому эти уникальные кластеры вполне могут существовать при криогенных температурах. Вопрос в том, как их изготовить. Ведь синтез даже “обычного” кубана C_8H_8 – это целое искусство.

Л.Опенев

1. *J. Mol. Struct. (Theochem)* 710, 163 (2011).

2. *J. Chem. Phys.* 133, 124513 (2010).

3. *ФТТ* 53, 2403 (2011).

Полупроводниковые наномембраны

Полупроводниковые наномембраны (nanomembranes, NMs) представляют собой квазидвумерные монокристаллические структуры толщиной от одного атомного монослоя до нескольких сотен нанометров и площадью вплоть до десятков квадратных сантиметров. Неорганические NMs (Si, MoS_2 , $Sr_2Nb_3O_{10}$, GeS, GeSe, AlGaAs и пр.) интересны для приложений в механических устройствах (благодаря своей гибкости), электронике (зонную структуру NMs можно регулировать, изменяя их толщину), термоэлектрических приборах (возможность управлять потоком тепла за счет конфайнмента фононов), оптоэлектронике (цилиндрические полости из NMs), фотонике (лазеры на основе фотонных кристаллов в NMs) и др. Такие NMs получают путем механического или химического отделения от объемных монокристаллов, а также посредством анизотропного травления в заданном кристаллографическом направлении. При деформации NMs их электронные характеристики могут изменяться кардинально: например, растяжение германиевых NMs приводит к тому, что запрещенная зона становится прямой. Изгибая NMs, можно формировать из них разнообразные 3D структуры. Углеродсодержащие (“органические”) NMs (прежде всего графен, его производные и другие двумерные аллотропы углерода с sp - и sp^2 -гибридизацией) дополняют неорганические и могут использоваться как сами по себе, так и в комбинации с последними. Особый интерес представляет интеграция NMs с биологическими объектами (нанобиотехнологии).

По материалам обзора J.A.Rogers et al., “*Synthesis, assembly and applications of semiconductor nanomembranes*”, *Nature* 477, 45 (2011).

ГРАФЕН

Азот в графене

Для практических приложений графена представляет интерес вопрос о характере изменения его электрических свойств при частичном замещении углерода атомами других химических элементов. В работе [1] (США, Корея) изучены кристаллическая и электронная структура однослойного графена, до-

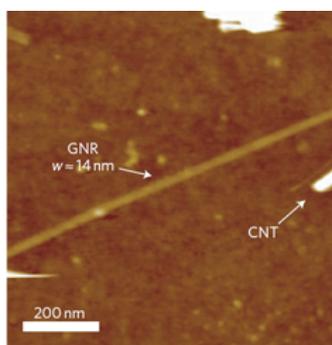
ПерсТ, 2011, том 18, выпуск 18

пированного азотом до концентрации $\sim 0.3\%$. Используются рамановская, рентгеновская и сканирующая туннельная спектроскопия. Установлено, что отдельные атомы азота располагаются в узлах решетки и формируют по три ковалентные связи N-C со своими соседями. Концентрация свободных электронов увеличивается пропорционально количеству примесных атомов (≈ 0.5 электрона на один атом). Электронная структура изменяется только локально, в окрестности примесей. Выборочное допирование отдельных участков графенового монослоя можно попробовать использовать при конструировании нанoeлектронных устройств на основе графена.

1. K. Jin et al., *Nature* **476**, 73 (2011).

Графеновые наноленты для квантовых проводов

Теория предсказывает наличие у графеновых нанолент ряда интересных (и важных для приложений) электронных и магнитных свойств (в частности, наноленты шириной ~ 10 нм должны иметь запрещенную зону ~ 100 мэВ – в отличие от бесщелевого графена). Однако качество нанолент, получаемых из графена путем литографии, очень низкое: у них неровные края, которые играют роль дефектов, препятствующих проявлению квантовых эффектов. В работе [1] (США, Китай) изучены электрические характеристики однослойных и двухслойных нанолент, изготовленных путем “раскрытия” углеродных нанотрубок (см. рис.).



Изображение графеновой наноленты (GNR) и нераскрывшейся углеродной нанотрубки (CNT), полученное методом атомной силовой микроскопии.

По данным сканирующей туннельной и просвечивающей электронной

микроскопии они имеют достаточно гладкие границы с очень незначительной (субнанометровой) шероховатостью. В наноленте шириной 14 нм запрещенная зона оказалась равной 72 мэВ, причем отсутствие на ВАХ резонансных пиков говорит о том, что появление щели в спектре не связано с дефектами, а обусловлено размерным квантованием. В этих нанолентах наблюдаются также чисто квантовые явления как кулоновская блокада и эффект Кондо. Высокая проводимость нанолент ($> 3e^2/h$) делает их перспективными кандидатами в квантовые провода для нанoeлектронных устройств.

1. X. Wang et al., *Nature Nanotech.* **6**, 563 (2011).

Пузыри из графена

Помимо своих необычных электронных свойств графен привлекателен уникальными механическими характеристиками. Будучи чрезвычайно эластичным материалом, выдерживающим растяжение до 20%, он, в то же время, непроницаем для газов. Это позволяет надувать графеновые пузыри, и, что более полезно, создавать на основе графена микролинзы с перестраиваемым фокусным расстоянием. Группа исследователей из Manchester Univ. (Великобритания), включающая и А.Гейма и К.Новосёлова, показала, что радиусом кривизны пузыря можно управлять, прикладывая электрическое напряжение.

Графеновые чешуйки получались микромеханическим расслоением слоя графита (micromechanical exfoliation, таким сложным термином теперь обозначается та самая “скотчевая технология”, которая позволила нобелевским лауреатам получить первые образцы графена) и последующим осаждением на подложку из оксида кремния, очищенную в кислородной плазме. Образование таких пузырей – распространённое явление, хотя его происхождение до сих пор невыяснено – возможно, между графеном и подложкой из оксида кремния оказываются остатки воздуха или углеводорода. Некоторые из них достигают размеров в десятые доли миллиметра и хорошо видны в оптический микроскоп, а монослой графена отражает достаточно света, чтобы создать характерную интерференционную картину в виде колец Ньютона (рис. 1а).

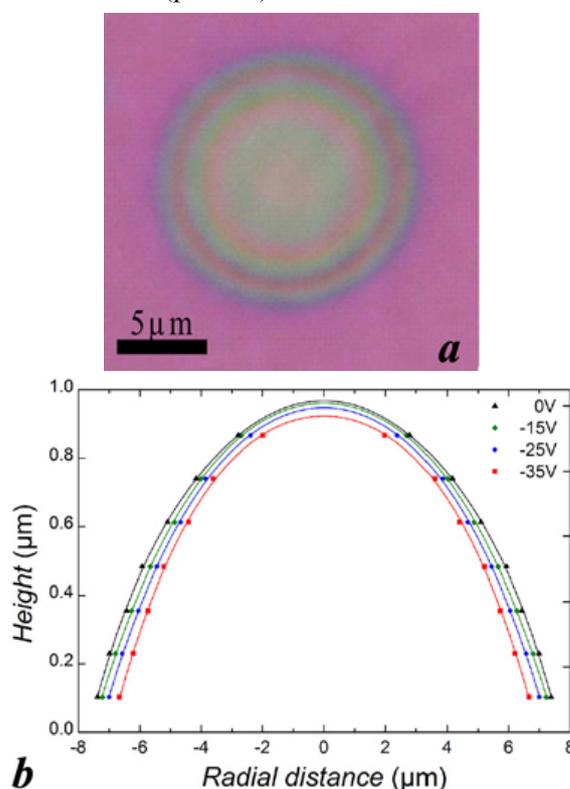


Рис. 1: а - Кольца Ньютона на пузыре из графена на подложке SiO₂; б - перестройка параметров пузыря электрическим напряжением [1].

Напылив металлический электрод, выполняющий роль затвора в структуре графен/оксид кремния, авторы, подавая напряжение на затвор, наблюдали изменяющуюся картину колец Ньютона, по которой можно было судить о геометрических параметрах пузыря. Результаты измерений приведены на графике (рис. 1b). Приложение напряжения в десятки вольт позволило изменить радиус пузыря на микрон, а высоту – на десятую микрона.

Эти исследования, несмотря на пока скромные величины изменений параметров структуры, потенциально представляет большой интерес для адаптивной оптики и электронной промышленности.

А. Пятаков

1. E.Georgiou et al., Appl. Phys. Lett. 99, 093103 (2011).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Intel продлевает закон Мура

ПерсТ много раз упоминал перспективные кремниевые полевые транзисторы на сверхтонком слое нелегированного кристаллического кремния (FD SOI). Они уже давно “прописаны” в Roadmap по полупроводникам. Много лет ими активно занимается компания IBM. Казалось, что компания Intel слабо ими интересуется. Однако недавно Intel объявила о том, что изготовила микросхемы нового поколения с технологическим размером 22нм на основе подобных транзисторов. На рис. 1 представлено схематическое изображение нового транзистора: затвор огибает канал с трех сторон, что позволило авторам употребить название “3D-технология”. До сих пор это понятие применялось к межсоединениям, что более строго называлось многоуровневой металлизацией.

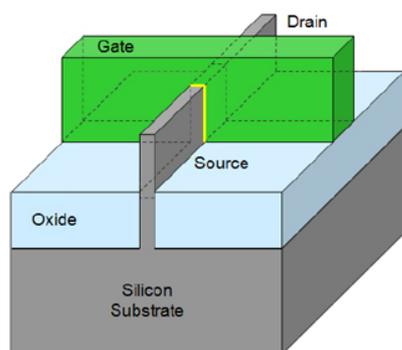


Рис. 1. Схема транзистора с тройным затвором (огибает канал с трех сторон).

Главное преимущество тонкого слоя кремния состоит в том, что он позволяет избежать легирования канала, что приходится неизбежно делать в субмикронных транзисторах на объемной подложке. Таким образом, кремниевая технология на завершающем витке спирали развития вернулась к исходному варианту с нелегированным каналом.

Гениальность изобретения кремниевого транзистора как раз и состояла в том, что использовался нелегированный кремний, в котором возникал инверсионный канал с большой концентрацией носителей. В закрытом состоянии транзистор представлял собой два включенных навстречу друг другу p-n перехода, ток был маленьким. Именно перекрытие областей обеднения в субмикронных транзисторах вынудило легировать канал, что приводило к уменьшению быстродействия и увеличению энерговыделения.

Однако конструкция транзистора Intel существенно отличается от конструкции транзистора IBM (FD SOI), которая использовала подложки “кремний на изоляторе” со сверхтонким слоем кремния (< 10нм). Как видно на рис. 1, канал транзистора не имеет полной изоляции от подложки, он как бы вырастает из нее. Из-за малой толщины канала ток транзистора в закрытом состоянии остается достаточно низким. Новая конструкция транзистора позволила на 50% снизить мощность и поднять рабочую частоту на 37%.

На рис. 2 представлены этапы совершенствования конструкции транзисторов Intel по мере уменьшения их размеров.

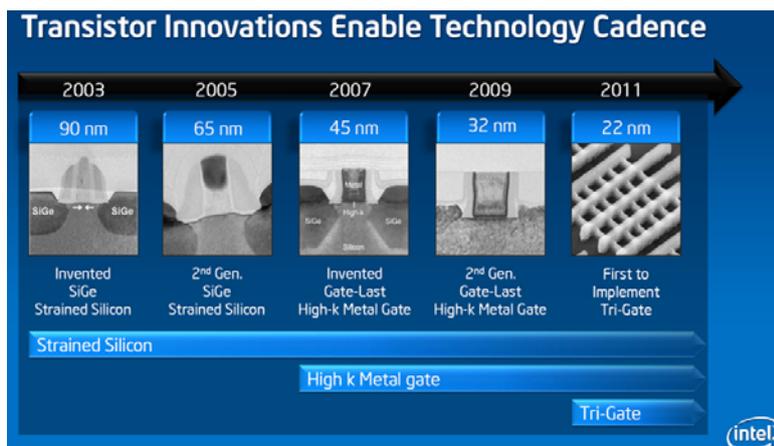


Рис. 2. Этапы большого пути компании Intel.

В.Вьюрков

1. http://download.intel.com/newsroom/kits/22nm/pdfs/22nm-Announcement_Presentation.pdf

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Электронный серфинг

Одно из направлений квантовой информатики основано на спиновых кубитах, носителями которых служат спины отдельных электронов в квантовых ямах. Для организации эффективных квантовых вычислений необходимо научиться передавать спиновую информацию между достаточно далеко удаленными друг от друга квантовыми точками. А для этого нужно уметь перемещать электроны от точки к точке. Но при большом (> 100 нм) расстоянии между точками вероятность туннелирования электрона пренебрежимо мала, а если соединить точки электронным резервуаром, то индивидуальность

исходного электрона будет утрачена. В работах [1] (Франция, Япония, Германия) и [2] (Великобритания) для передислокации одиночных электронов использованы поверхностные акустические волны. В пьезоэлектрическом материале (например, GaAs) такие волны создают нестационарную модуляцию электростатического потенциала. Электрон квантовой точки захватывается в один из минимумов этой волны и переносится в другую точку со скоростью более 1 мкм/нс. При желании можно вернуть электрон обратно, изменив направление распространения волны (в [2] электрон “гоняли” туда-сюда между двумя квантовыми точками более 60 раз, так что суммарное пройденное им расстояние составило 0.25 мм). Теперь задача состоит в том, чтобы выяснить, не происходит ли при таком “электронном серфинге” декогерентизации спиновых состояний.

1. S.Hermelin et al., *Nature Mater.* 477, 435 (2011).

2. R.P.G.McNeil et al., *Nature Mater.* 477, 439 (2011).

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

Углеродные нанотрубки и заболевания мозга

Диагностика и лечение заболеваний центральной нервной системы человека – чрезвычайно важная и актуальная проблема. За последнее время во всём мире заметно выросло число опухолей мозга, всё чаще встречаются болезни Паркинсона и Альцгеймера, и не только у старых людей. Развитие нанотехнологий помогает в поисках новых методов борьбы с этими заболеваниями. Нейрофизиологи, биофизики и другие исследователи проявляют большой интерес к углеродным нанотрубкам (УНТ). Благодаря сочетанию уникальных свойств эти наноматериалы могут быть использованы и для фундаментальных исследований поведения нервных клеток, например, для изучения роста и организации нейронной сети, и даже для создания нейроэлектродов (см. ПерсТ [1,2]). Углеродные нанотрубки действительно способны проникать в нервную клетку (нейрон) и связываться с ней – происходит так называемая интернализация (рис. 1).

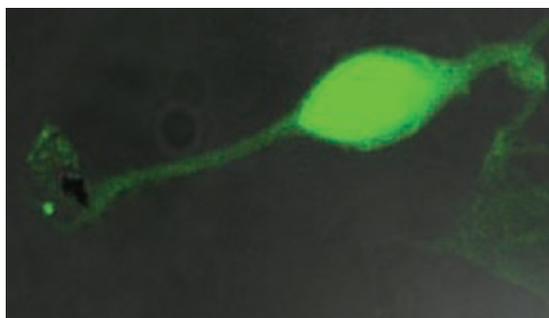


Рис.1. Интернализация нанотрубки в нейрон [3].

Это очень важно для диагностики и доставки лекарств и ДНК. Тем не менее, вместе с новыми возможностями возникают и серьёзные опасения. Каковы риски? Учёные из Италии и Франции представили краткий обзор работ, в которых изучено

биологическое воздействие нанотрубок на нейроны [3]. Результаты противоречивы. В одних исследованиях отрицательных эффектов не обнаружено, в других отмечены изменение морфологии нейронов, цитотоксичность, изменение активности ионных каналов и др. Это относится к нанотрубкам как с ковалентной, так и с нековалентной функционализацией (применяемой для повышения растворимости), с разными функциональными группами и молекулами.

Авторы [3] приходят к выводу, что из-за методологических аспектов правильно оценить нейротоксичность пока нельзя. Существуют разные методы синтеза нанотрубок, разные варианты функционализации. Концентрация или степень дисперсности УНТ различна. Некоторые исследователи не изучают (или не приводят данные), как действуют соединения, используемые для функционализации. Возможно, вредные эффекты определяются ими. Как и при оценке других видов токсичности встаёт вопрос о составе нанотрубок. Например, снижать активность ионных каналов могут не сами нанотрубки, а примеси катализаторов. Авторы обзора призывают тщательно изучать (и приводить в статьях) физико-химические характеристики углеродных нанотрубок, используемых в экспериментах.

Всё же хочется закончить заметку на оптимистичной ноте. Недавние исследования на крысах *in vivo* убедительно показали, что углеродные нанотрубки могут защитить мозг от инфаркта! Авторы работы [4] сначала хотели использовать УНТ для доставки стволовых клеток в пораженные области мозга. (*Терапия ишемического инсульта с помощью стволовых клеток считается перспективным направлением в лечении этого тяжелого и, к сожалению, очень распространённого заболевания*). Неожиданно они обнаружили, что углеродные нанотрубки и без стволовых клеток уменьшают инфарктные области мозга у крыс! Учёные решили пойти дальше – они ввели крысам нанотрубки “с целью профилактики” – до инсульта.

Углеродные нанотрубки с аминными группами (а-УНТ) были получены из коммерческих УНТ с карбоксильными группами путём модифицирования в плазме N₂/H₂. Ишемический инсульт у крыс был смоделирован общепринятым способом – с помощью процедуры окклюзии (закупорки) средней мозговой артерии (СМАо) продолжительностью 90 мин. За неделю до процедуры СМАо одной группе крыс (136 животных) ввели инъекции а-УНТ, другой (145 животных) – инъекции фосфатно-солевого буферного раствора, нетоксичного для клеток.

В результате нарушения кровоснабжения участков мозга развивается инфаркт – возникает омертвление клеток. Исследования показали, что инфарктные области у крыс, предварительно получивших а-УНТ, были намного меньше, чем у животных другой группы (рис. 2).

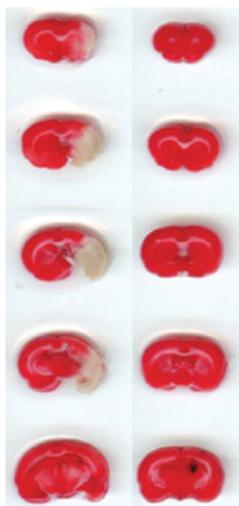


Рис. 2. Последовательные срезы мозга крыс, получивших до инсульта инъекции: буферного раствора (слева), α -УНТ (справа).

Области белого цвета – инфарктные.

Моторные функции у крыс, получивших инъекции α -УНТ, также были меньше нарушены и через 7 дней после СМАо восстановились. Авторы работы считают, что нейропротекторные свойства нанотрубок обусловлены аминными группами

– в случае инъекций немодифицированных УНТ (как с карбонильными группами, так и без них), инфарктные области были существенно больше. Исследования α -УНТ с помощью РФЭС показали наличие пиков NH_2 , CN и $\text{C}=\text{N}-\text{OH}$ (этих пиков нет для исходных УНТ). Возможно также, что обработка нанотрубок плазмой увеличивает количество поверхностных дефектов, и это способствует росту нейронной ткани.

Авторы [4] провели серию дополнительных биомедицинских исследований, которые подтвердили защитные свойства α -УНТ. Механизм действия пока полностью не ясен. Контрольные эксперименты показали, что здоровым (без инфаркта) крысам инъекции α -УНТ и буферного раствора не причинили никакого вреда – не было обнаружено ни повреждений нейронов, ни анатомических изменений мозга, ни нарушений моторных функций. Этот результат очень важен. Но, конечно, для того, чтобы α -УНТ можно было использовать для лечения заболеваний мозга у людей, потребуется ещё много исследований.

О.Алексеева

1. [ПерсТ 16, вып. 5, с. 5 \(2009\).](#)
2. [ПерсТ 16, вып. 7, с. 7 \(2009\).](#)
3. *G.Cellot et al., Small 6, 2630 (2010).*
4. *H.J.Lee et al., Nature Nanotech. 6, 121 (2011).*

Баки-металлоцены в углеродной нанотрубке

Исследователям из Японии удалось с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) высокого разрешения проследить за поведением комплексов металлоцен-[60]фуллерен или баки-металлоценов (производное от слов “бакибол” и “металлоцен”), помещенных в углеродную нанотрубку [1]. Баки-металлоцены представляют собой сложную структуру, состоящую из собственно фуллерена, в котором один из образованных атомами углерода пятиугольников является также и циклопентадиенильным кольцом металлоцена (рис. 1). В центре внимания авторов публикации оказались баки-металлоцены на основе атомов металлов восьмой группы: железа и рутения, а одной из основных целей исследования было определение каталитиче-

ской активности одиночного атома металла (Fe, Ru), входящего в состав комплекса. Баки-ферро- и рутеноцены помещались внутрь одностенной углеродной нанотрубки с открытыми концами диаметром около 2 нм при пониженном давлении (10^{-4} Па) и температуре 583–613 К. Плотная упаковка молекул (подобно горошине в стручке) образовывала своеобразную секционную структуру, это предотвращало миграцию атомов металла и не позволяло им образовывать металлокластеры или карбиды.

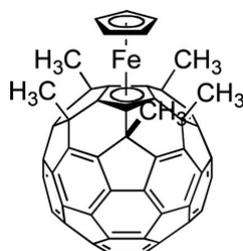


Рис. 1. Общий вид молекулы баки-ферроцена

Дальнейшее детальное исследование эволюции с помощью ПЭМ позволило обнаружить, что под действием пучка электронов происходит реорганизация углеродных связей в баки-металлоценах и разложение комплексов металлоцен-[60]фуллерен. Получающаяся при этом эллипсоидная структура очень похожа на привычный фуллерен C_{70} (рис. 2).

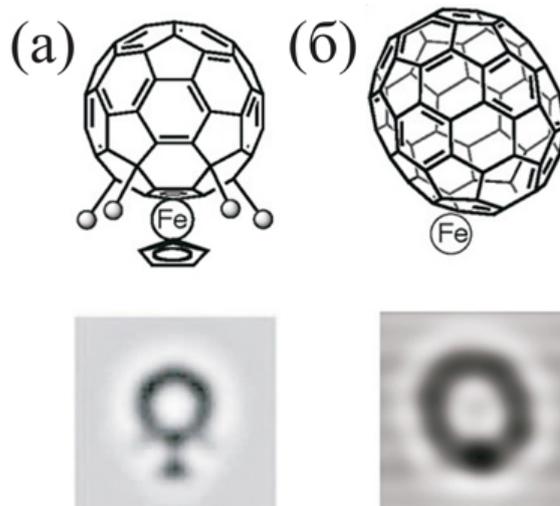


Рис. 2. Молекулярная модель и ПЭМ-изображение баки-ферроцена (а) и фуллерена C_{70} с атомом железа на поверхности (б)

Все исследуемые процессы были зафиксированы на видео: получившиеся ПЭМ-фильмы можно посмотреть on-line [2]. В конечном итоге авторы продемонстрировали высокую каталитическую активность отдельных атомов железа и рутения, которую в дальнейшем можно использовать для исследования реакций с участием различных органических и металлоорганических соединений.

М.Маслов

1. *E.Nakamura et al., J. Am. Chem. Soc. 133, 14151 (2011).*
2. <http://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/ja203225n>

Плотный массив углеродных нанотрубок в качестве источника полевой ионизации атомных частиц

Способность углеродных нанотрубок (УНТ) усиливать приложенное электрическое поле, обусловленная их высоким аспектным отношением, лежит в основе их использования в качестве холодных полевых эмиттеров. В этом случае внешнее электрическое поле, приложенное к массиву УНТ, вызывает электронную эмиссию в результате эффекта квантового туннелирования электронов с кончика нанотрубок. Кроме того, указанное свойство УНТ может быть применено в масс-спектрометрии для полевой ионизации нейтральных атомных частиц (атомов, молекул) вблизи конца УНТ, где электрическое поле достаточно велико. Попытки оптимизации такого устройства наталкиваются на проблему, связанную с эффектом экранирования электрического поля в массиве УНТ. При высокой плотности массива в силу эффекта экранирования усиление электрического поля незначительно, а при низкой плотности область, в которой электрическое поле оказывается достаточно сильным для полевой ионизации, сравнительно мала, так что невелика и полная скорость ионизации. Недавно группой исследователей из Warwick Univ. и Cambridge Univ. (Великобритания) [1] был предложен достаточно эффективный подход к решению указанной проблемы. В этом случае аномально высокое усиление электрического поля обеспечивается за счет наличия частиц никеля на кончиках УНТ.

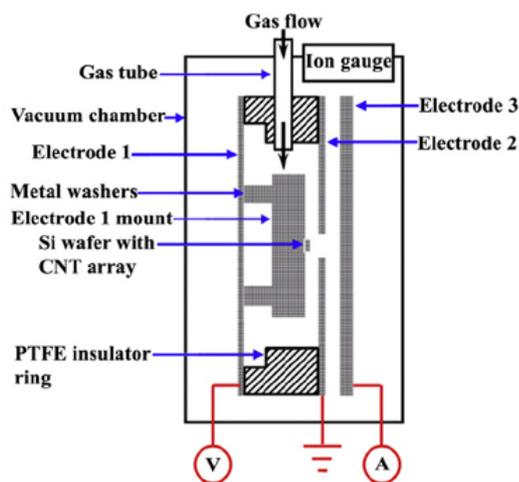


Рис. 1. Поперечное сечение устройства для полевой ионизации газовых частиц.

Схема экспериментального устройства показана на рис. 1. Это устройство содержит двухэлементный анод (электрод 1), контр-электрод (электрод 2) и третий электрод (3). В электроде 2 имеется отверстие диаметром 3 мм. К аноду с помощью проводящего клея прикрепляли круглую кремниевую пластину диаметром 1 мм. На этой пластине методом плазменного CVD был выращен массив площадью $0.5 \times 0.5 \text{ мм}^2$ вертикально ориентированных

УНТ диаметром около 90 нм и высотой около 11 мкм с плотностью массива 10^9 см^{-2} . Наблюдения, выполненные с помощью просвечивающего электронного микроскопа, указывают на наличие никелевых частиц на кончиках УНТ. Расстояние от кончиков УНТ до электрода 2, а также расстояние между электродами 2 и 3 составляло 1 мм. Описанное устройство помещали в вакуумную камеру, которая откачивали до давления 5×10^{-6} Торр и заполняли исследуемым газом. Молекулы газа, находящиеся вблизи кончиков УНТ, испытывают полевую ионизацию при наложении на электрод 1 достаточно высокого положительного потенциала. Образующиеся при этом ионы ускоряются электродами 2 и 3 и направляются в электрометр. Коэффициент усиления электрического поля определяли стандартным методом на основании результатов эмиссионных вольтамперных характеристик в координатах Фаулера-Нордгейма, которые измеряли при подаче на электрод 1 отрицательного потенциала. Согласно измерениям, величина этого параметра составила 2200 ± 600 .

Ионизацию газовых молекул наблюдали при значениях приложенного напряжения до 7 кВ, что соответствует локальной напряженности электрического поля вблизи кончиков УНТ около 15 В/нм. В процессе измерений давление исследуемого газа плавно повышалось до значений порядка 10^{-5} Торр. В качестве исследуемого газа использовали ацетон. Как следует из проведенных измерений, полевая ионизация молекул ацетона происходит при напряжениях, превышающих 4 кВ. При этом увеличение приложенного напряжения сопровождается резким ростом ионного тока, который достигает значений порядка 7 нА при максимальном приложенном напряжении (7 кВ). Описанное устройство в сочетании с квадрупольным масс-спектрометром представляет удобное средство анализа химического состава газов и газовых смесей.

А.Елецкий

1. J.Luo et al., Chem. Phys. Lett. 505, 126 (2011).

КОНФЕРЕНЦИИ

I Национальная конференция по прикладной сверхпроводимости (НКПС-1), 6 - 8 декабря 2011, Москва, НИЦ “Курчатовский институт”



Цель конференции – рассмотрение результатов исследований и разработок в области материаловедения и технологии сверхпроводящих материалов, создания систем и устройств, изготавливаемых с их использованием, для организации производств и внедрения в технику.

Тематика конференции

На конференции будут представлены доклады в рамках пленарных, секционных и стендовых сессий по следующей тематике:

- Теоретические основы прикладной сверхпроводимости
- Получение низкотемпературных и высокотемпературных сверхпроводящих материалов
- Влияние конструкции, состава и структуры на физико-механические свойства сверхпроводников
- Устройства на основе низкотемпературных и высокотемпературных сверхпроводников
- Крупномасштабное применение сверхпроводников (ИТЭР, ФАИР и др.)
- Применение сверхпроводников в электронике

Тезисы необходимо прислать по почте (1 экземпляр и разрешение на публикацию), а также в электронном виде **не позднее 30 октября 2011 г.**

Контакт

Ученый секретарь конференции
Круглов Виталий Сергеевич
E-mail: Panina_GV@rrcki.ru
Тел: (499) 196-77-17;
Факс: (499) 196-96-31
Сайт: www.kiae.ru

I Международный конгресс по инновациям “Эффективное управление: создание единого инновационного пространства Россия – Европейский союз”, 15 - 17 ноября 2011, Москва, Россия

Тематика Конгресса предполагает обсуждение и презентацию современных технологий сетевого управления инновационными проектами в рамках приоритетных направлений Европейского Союза:

1. Нанотехнологии
2. Биотехнологии
3. Технологии защиты окружающей среды
4. Новые материалы

Формат Конгресса включает в себя пленарное заседание, постер-сессию, выставку инновационных разработок, учебные мастер-классы, проведение тренингов по формированию проектных команд для участия в отборе заявок, предлагаемых для финансирования ЕС.

Предложения по спонсорству Конгресса рассматриваются.

Контакт

Менеджер проекта
Захарова Лариса
E-mail: innocongress2011@mail.ru
Телефоны:
+7 (499) 741-61-20
+7 (962) 986-00-59

Сайт: www.innocongress2011.com

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

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

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

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

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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