

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Сверхпроводимость органических наноструктур

До каких пределов можно уменьшать размер сверхпроводящего образца, чтобы в нем все еще сохранялась сверхпроводимость? Этот вопрос представляет собой не только фундаментальный интерес, но и важен с практической точки зрения (сверхпроводниковая наноэлектроника). В работе [1] специалисты из США, Японии и Германии использовали методику сканирующей туннельной спектроскопии для исследования конечных цепочек $(\text{BETS})_2\text{GaCl}_4$ – органического сверхпроводника с $T_c \approx 8$ К в объемных образцах (рис. 1).

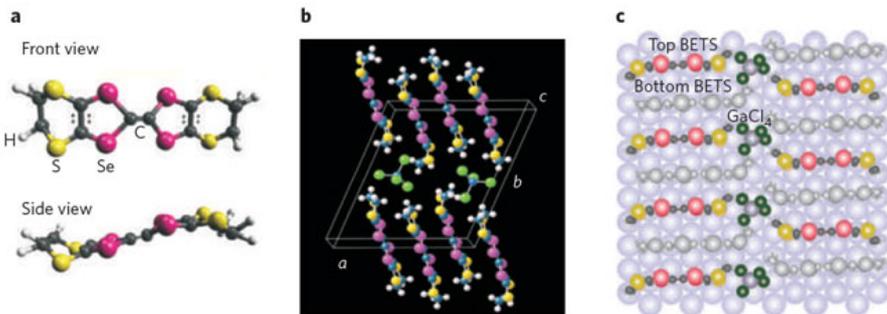


Рис.1. *a* - Молекула BETS. *b* - Объемная структура $(\text{BETS})_2\text{GaCl}_4$. *c* - Одна из наноструктур, полученных в [1] на поверхности $\text{Ag}(111)$. Молекулы BETS, разделенные молекулами GaCl_4 , образуют цепочки в вертикальном направлении.

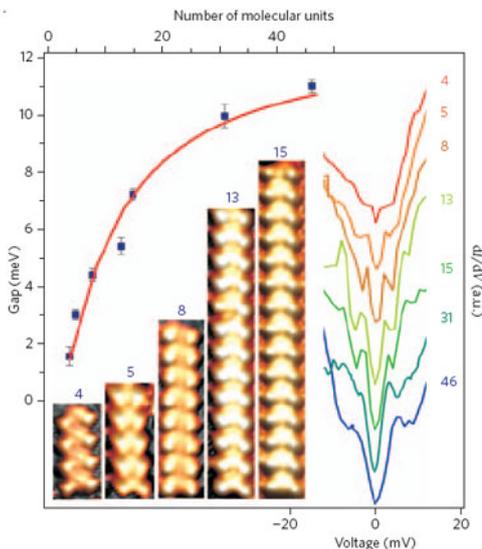


Рис.2. Зависимость сверхпроводящей щели от числа молекулярных единиц в цепочке $(\text{BETS})_2\text{GaCl}_4$ и соответствующие туннельные ВАХ.

Эти цепочки были получены путем осаждения продуктов испарения кристаллов $(\text{BETS})_2\text{GaCl}_4$ на атомарно гладкую поверхность $\text{Ag}(111)$. На туннельных спектрах отчетливо наблюдались особенности, обусловленные сверхпроводящей щелью Δ (рис. 2), причем величина Δ , как и следовало ожидать, увеличивалась с ростом числа N молекулярных единиц $(\text{BETS})_2\text{GaCl}_4$ в цепочке, выходя на константу, отвечающую отношению $2\Delta/k_B T_c \approx 13.5$, то есть в четыре раза больше, чем в теории БКШ.. При этом, однако, Δ была отлична от нуля даже в очень короткой цепочке с $N = 4$ длиной около 3.5 нм (рис. 2). Интересно, что анализ угловой зависимости туннельного тока говорит о

И далее ...

- 2 Сверхпроводниковый интерферометр на эффекте близости

Особенность Ван Хофа и сверхпроводящая неустойчивость в допированном графене

СПИНТРОНИКА

- 2 Антиподы магнитных вихрей

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 4 Квантовая спиновая жидкость из дираковских фермионов

Комнатнотемпературный квантовый регистр на электронных спинах NV-центров в алмазе

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАОЭЛЕКТРОНИКА

- 5 Квантовый контроль механического резонатора

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 5 Аффинные биосенсоры на основе углеродных нанотрубок

- 6 Действие фуллеренов на клетки человека и растений

- 7 Сенсоры на основе массивов углеродных нанотрубок для контроля мест захоронения отходов

КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 VI Международная конференция “Фазовые превращения и прочность кристаллов”, посвященная памяти академика

Г.В. Курдюмова,
16-19 ноября 2010 г.,
Черноголовка, Россия

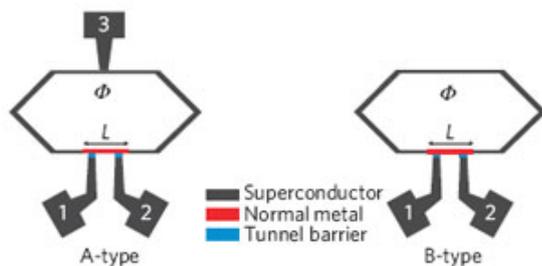
d_{xy} -волновой симметрии Δ , а значит сверхпроводимость $(\text{BETS})_2\text{GaCl}_4$ не только “наноструктурированная”, но вдобавок еще и “необычная”.

Л. Опенов

I. N. Clark et al., *Nature Nanotech.* 5, 261 (2010).

Сверхпроводниковый интерферометр на эффекте близости

Если сверхпроводник привести в контакт с нормальным (несверхпроводящим) металлом, то в последнем также могут возникнуть сверхпроводящие корреляции, что известно как эффект близости. При этом величину индуцированной сверхпроводящей щели можно регулировать, изменяя фазу параметра сверхпроводящего порядка, что было использовано итальянскими и финскими физиками [1] для конструирования сверхпроводникового интерферометра нового типа, который они назвали “superconducting quantum interference proximity transistor” (SQUIPT). Работа SQUIPT основана на модуляции (магнитным полем) щели, наведенной в нормальном металле – части замкнутого сверхпроводящего контура (см. рис.), что приводит к изменению тока через туннельные контакты. Даже без оптимизации конструкции в [1] были достигнуты очень низкие величины шума потока $\sim 10^{-5} \Phi_0 \Gamma_{\text{Ц}}^{-1/2}$ и диссипируемой мощности ~ 1 фВт – на несколько порядков меньше, чем в обычных сверхпроводниковых интерферометрах. Ожидается, что дальнейшее усовершенствование методики позволит еще более повысить чувствительность и, возможно, даже научиться измерять таким образом магнитные моменты спинов отдельных атомов и молекулярных наномангнитов.



Схематическое изображение двух различных типов SQUIPT, описываемых [1]. Нормальный металл – медь, сверхпроводник – алюминий. 1, 2, 3 – электроды. $L \approx 1.5$ мкм.

I. F. Giazotto et al., *Nature Phys.* 6, 254 (2010).

Особенность Ван Хова и сверхпроводящая неустойчивость в допированном графене

Известно, что ванховская сингулярность (VHS) в плотности электронных состояний способствует куперовскому спариванию, если уровень Ферми E_F (определяемый концентрацией электронов) находится в непосредственной близости к VHS. В работе [1] показано, что взаимное положение E_F и VHS в графене можно регулировать путем допирования графена на подложке SiC(0001) калием и/или галлием. Этот вывод основан на данных фотоэмисси-

онной спектроскопии с угловым разрешением. Интересно, что экспериментально определенная поверхность Ферми в окрестности точки М зоны Бриллюэна оказалась даже более плоской, чем предсказывает теория – по-видимому, из-за многочастичных эффектов. Выполненные в [1] расчеты свидетельствуют о возможности нефононной сверхпроводимости надлежащим образом допированного графена, а также о конкуренции сверхпроводящей неустойчивости с магнитной.

I. J. L. McChesney et al., *Phys. Rev. Lett.* 104, 136803 (2010).

СПИНТРОНИКА

Антиподы магнитных вихрей

Магнитные вихри, реализующиеся в наночастицах из магнитных материалов, стали едва ли не самыми популярными объектами микромагнитного моделирования, поскольку с ними связывают будущее магнитной памяти. Частицы с вихревым распределением намагниченности не создают полей рассеяния и потому практически не влияют друг на друга, позволяя плотнее располагать их в устройствах магнитной записи сверхвысокой емкости. Гораздо менее известны, хотя и не менее значимы для микромагнетизма, магнитные *антивихри* – структуры, представляющие собой топологические антиподы вихрей (рис. 1).

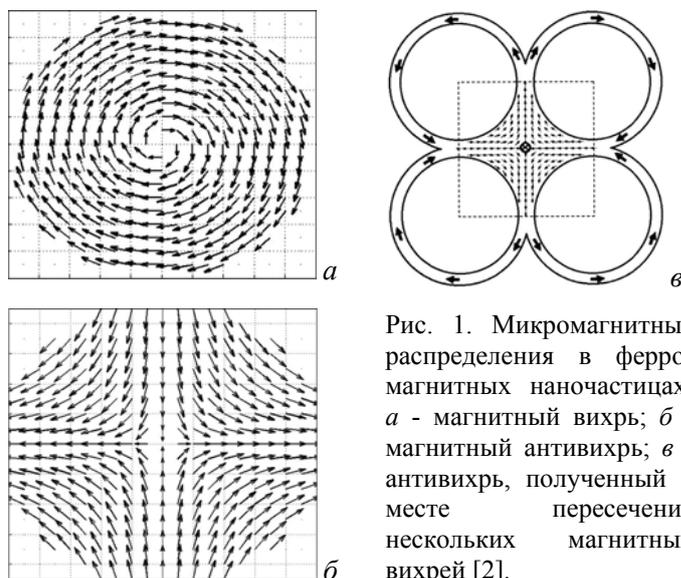


Рис. 1. Микромагнитные распределения в ферромагнитных наночастицах: а - магнитный вихрь; б - магнитный антивихрь; в - антивихрь, полученный в месте пересечения нескольких магнитных вихрей [2].

Существование такого микромагнитного распределения интересно само по себе. Кроме того, от него также ожидают необычных магнитотранспортных свойств, которые могут найти применение в спинтронике (например, топологический эффект Холла). Реализация антивихревого состояния – довольно сложная задача, поскольку оно энергетически невыгодно вследствие образования магнитных полюсов на краях частицы. В недавней работе [1] команда исследователей из Института физики микроструктур РАН в Нижнем Новгороде совместно с

английскими коллегами спроектировала и создала магнитные наноструктуры с антивихревым распре-

делением намагниченности в наночастицах асимметричной крестообразной формы (рис.2).

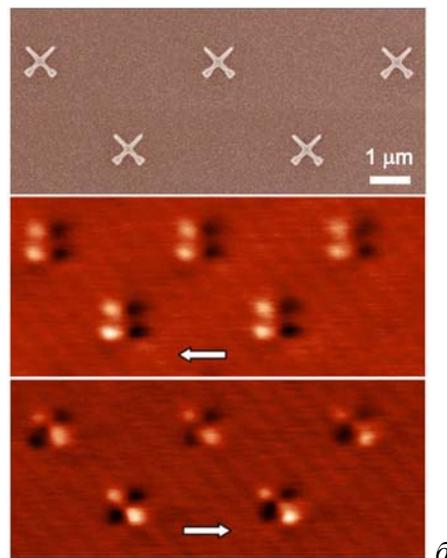
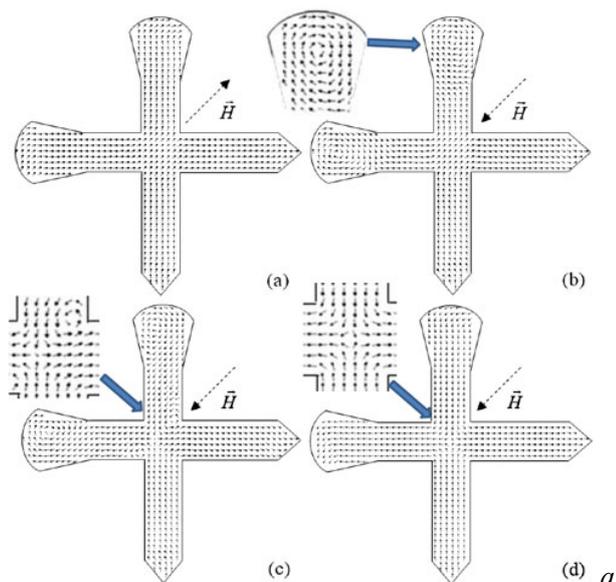


Рис. 2. Образование антивихревого состояния в крестообразных частицах с утолщениями на двух концах: *а* - микромагнитное моделирование: 1 - квазиоднородное состояние, 2 - зарождение вихрей в утолщениях при смене знака магнитного поля, 3 - зарождение ядра антивихря, 4 - установление антивихревого распределения; *б* - изображение частиц в электронном (сверху) и магнитно-силовом микроскопах в процессе перемагничивания (белые стрелки - направление магнитного поля) [1]

Сама форма распределения намагниченности в антивихре (рис.1б) наводит на мысль о крестообразной форме частицы, в которой он может реализоваться. Однако микромагнитное моделирование в крестообразной частице показывает, что антивихревое распределение намагниченности в энергетическом плане проигрывает однородному. Тем не менее, авторам [1] удалось путем микромагнитного моделирования найти оптимальную форму в виде креста с бульбообразными утолщениями (рис.2), в которой антивихревое состояние реализуется при перемагничивании во внешнем поле. Микромагнитное распределение проходит несколько стадий от однородного распределения, через образование вихрей в бульбочках, до зарождения антивихревого ядра и вытеснения вихрей. Результаты такой “нанотехнологии” нашли убедительное подтверждение в экспериментах по наблюдению процесса перемагничивания наночастиц кобальта заданной формы с помощью магнитно-силового микроскопа (рис.2б). Конечное распределение магнитных полюсов (изображаются темными и светлыми участками) соответствует антивихревому состоянию.

Здесь стоит отметить, что несколько лет назад антивихревое состояние было реализовано [2] на пересечении четырех магнитных вихрей в кольцах (рис.1в). Однако такая сложная форма не позволяет проводить измерения магнитотранспортных свойств.

В случае магнитных диэлектриков при расчете распределения намагниченности уже необходимо учитывать наличие неоднородного магнитоэлектрического взаимодействия, позволяющего перестраи-

вать магнитную структуру электрическим полем [3]. Это дополнительное взаимодействие приводит к образованию в ядре вихря и антивихря электрических зарядов противоположных знаков. Как показано в [4], приложение неоднородного электрического поля в зависимости от его полярности может стабилизировать в диэлектрической магнитной наночастице либо вихревое, либо антивихревое состояние (рис.3), что позволяет рассматривать такую систему как прототип электрически переключаемого двоичного логического элемента.

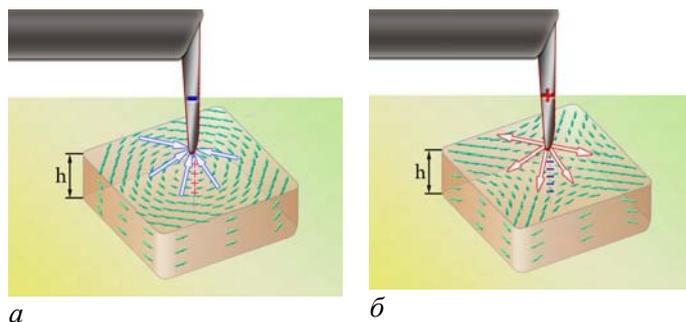


Рис. 3. Магнитная диэлектрическая наночастица, под действием неоднородного электрического поля, создаваемого иглой кантилевера: *а* - электрически индуцированное вихревое состояние; *б* - электрически индуцированное антивихревое состояние [3].

Так магнитные антивихри постепенно перестают быть экзотикой и завоевывают равноправие со своими более известными собратьями.

А.Пятаков

1. V.L.Mironov et al., *Phys. Rev. B* **81**, 094436 (2010).
2. K.Shigeto et al., *Appl. Phys. Lett.* **80**, 4190 (2002).

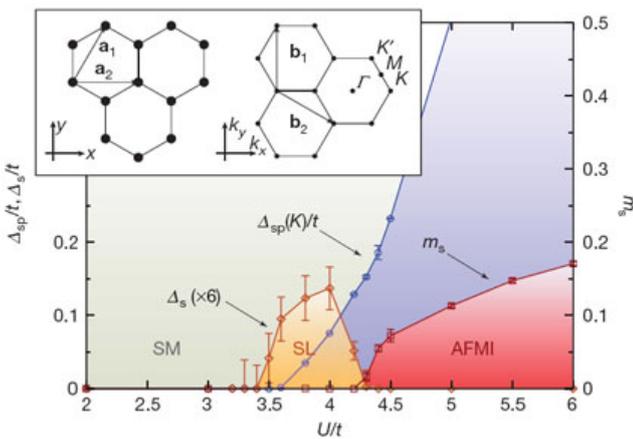
3. [ПерсТ 15, вып. 23, с. 3 \(2008\).](#)

4. [G.A.Meshkov et al., ArXiv:1001.0391.](#)

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Квантовая спиновая жидкость из дираковских фермионов

При достаточно низких температурах конденсированные системы стремятся перейти в то или иное упорядоченное состояние. Исключением здесь являются квантовые спиновые жидкости, в которых при $T \rightarrow 0$ упорядочению спинов препятствуют квантовые флуктуации. Хотя нечто похожее на спиновую жидкость экспериментально наблюдалось в некоторых двумерных органических соединениях, обнаружить это состояние вещества при компьютерном моделировании долго не удавалось. В работе теоретиков из Univ. Stuttgart и Univ. Würzburg (Германия) [1] представлены результаты численного исследования фазовой диаграммы модели Хаббарда на ячеистой (как у графена) решетке при $T=0$ и половинном заполнении (один электрон на атом). Используя детерминантный квантовый метод Монте-Карло, авторы [1] рассчитали электронные и магнитные характеристики систем из $2L^2$ атомов ($L \leq 18$), выполнили скейлинг по L и установили, что в термодинамическом пределе ($L \rightarrow \infty$) спиновая жидкость существует в диапазоне $3.5 \leq U/t \leq 4.3$, где U – энергия хаббардовского отталкивания электронов на одном узле, t – матричный элемент их перескока между соседними узлами. На фазовой диаграмме квантовая спин-жидкостная фаза расположена между фазой полуметалла с безмассовыми дираковскими фермионами и фазой антиферромагнитного моттовского диэлектрика (см. рис.).



Фазовая диаграмма модели Хаббарда на ячеистой решетке при половинном заполнении. SM – полуметалл, AFMI антиферромагнитный моттовский диэлектрик, SL – спиновая жидкость. Δ_{sp} – одночастичная щель, Δ_s – спиновая щель, m_s – подрешеточная намагниченность. На вставке – структуры прямой и обратной решетки.

Дальний порядок в спиновой жидкости отсутствует, а ближний обусловлен RVB-корреляциями в шестиугольных ячейках. Если вспомнить, что модель RVB в свое время была предложена для объяснения высокотемпературной сверхпроводимости, то есте-

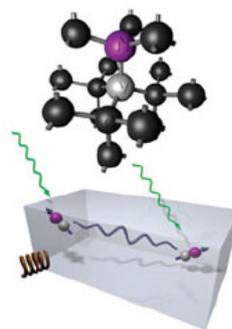
ственно предположить, что добавление носителей заряда в диэлектрическую ячеистую решетку приведет к возникновению сверхпроводящих корреляций. Для экспериментальной реализации этих идей можно, например, попробовать изготовить ячеистую структуру из ультрахолодных атомов в соответствующим образом сконфигурированной оптической решетке (тогда межэлектронное взаимодействие, то есть параметр U/t легко регулируется) или же “растянуть” графен, чтобы уменьшить t и тем самым усилить кулоновские корреляции до необходимого уровня. Еще один вариант – графеноподобная решетка из атомов кремния.

Л.Опенев

1. [Z.Y.Meng et al., Nature 464, 847 \(2010\).](#)

Комнатнотемпературный квантовый регистр на электронных спинах NV-центров в алмазе

Голубая мечта квантовой информатики – создание такого квантового процессора, который бы а) был масштабируемым и б) работал при комнатной температуре. При этом одними из наиболее подходящих кандидатов в кубиты считаются спины электронов и ядер в твердых телах. В работе [1] экспериментально продемонстрированы основные операции с двумя кубитами на основе электронных спинов центров азот-вакансия (NV-центров) в изотопически чистом (с минимальным количеством парамагнитных центров ^{13}C) алмазе. Дальнейший характер магнитного диполь-дипольного взаимодействия спинов позволяет контролируемым образом создавать запутанные состояния спиновых кубитов, отстоящих друг от друга на очень большие (по атомным меркам) расстояния ~ 10 нм, что, в свою очередь, делает возможным проведение операций с каждым из кубитов по отдельности. Авторы [1] осуществили когерентный контроль обоих кубитов, их условную динамику и селективное “считывание” результатов операции. Принципиальных ограничений для наращивания количества кубитов вроде бы нет. Чтобы увеличить точность операций, в дальнейшем предполагается использовать спины ядер углерода в качестве “вспомогательных” кубитов.



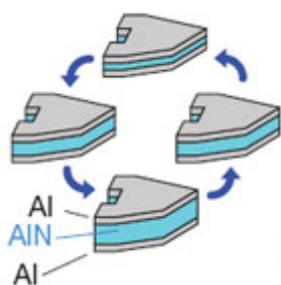
Вверху – структура дефектного центра азот (N) – вакансия (V) в алмазе. Внизу – иллюстрация организации взаимодействия между двумя NV-центрами посредством лазерного и СВЧ излучения.

1. [P.Neumann et al., Nature Phys. 6, 249 \(2010\).](#)

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Квантовый контроль механического резонатора

За последние годы достигнут значительный прогресс в исследованиях квантовых свойств микро- и наномеханических резонаторов [1]. Основная сложность здесь заключается в том, что для наблюдения квантовых эффектов нужно свести среднее число n фононов в резонаторе к минимуму, а еще лучше – вообще к нулю. Это требует понижения температуры до $T < hf_r/k_B$, где f_r – резонансная частота. В обычных микромеханических резонаторах величина f_r отвечает движению центра масс и составляет около 10^8 Гц, поэтому требуется $T < 1$ мК, и приходится использовать сложные методики типа лазерного охлаждения. Но и тогда $n \approx 4$ [2], то есть достичь основного состояния ($n = 0$) все равно не удастся. Существенный шаг сделан сотрудниками Univ. of California, Santa Barbara (США) [3], использовавшими в качестве резонатора пьезоэлектрическую пластинку из AlN, акустические колебания в которой (периодическое изменение толщины пластинки с $f_r \approx 6 \cdot 10^9$ Гц) возбуждались при подаче напряжения на алюминиевые контакты (см. рис.).



Дилатационная резонансная мода микромеханического резонатора. Толщина слоев AlN и Al составляет 330 и 130 нм, соответственно.

Используя обычный рефрижератор, авторы [3] охладили свое устройство до $T = 25$ мК и достигли состояния с $n < 0.07$. После решения этой задачи в [3] было изучено взаимодействие резонатора с двухуровневой квантовой системой – джозефсоновским потоковым кубитом. Оказалось возможным контролируемым образом создавать (и уничтожать) в резонаторе одиночные фононы. Осцилляции чисел заполнения наблюдались для кубита, исходно приготовленного как в возбужденном, так и в суперпозиционном состоянии. Это указывает на то, что в принципе можно создавать и запутанные состояния кубита с резонатором – что-то наподобие “шредингерских котят”.

1. A.Cho et al., *Science* **327**, 516 (2010).
2. T.Rochelleau et al., *Nature* **463**, 72 (2009).
3. D.O’Connell et al., *Nature* **464**, 697 (2010).

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

Аффинные биосенсоры на основе углеродных нанотрубок

Одностенные углеродные нанотрубки (УНТ) представляют класс наноматериалов, который вполне может использоваться в качестве чувствительных элементов благодаря своим уникальным физико-

химическим свойствам. Так, например, УНТ, модифицированные способными к биораспознаванию молекулами, такими как антитела, аптамеры или ДНК, позволяют успешно детектировать различные объекты, включая белки, вирусы, бактерии, ДНК/РНК и даже раковые клетки. Класс аналитов, играющий ключевые роли в области мониторинга окружающей среды и здравоохранения широко представлен небольшими слабо заряженными и незаряженными молекулами, поэтому проблема их детектирования приобретает важное значение. Авторы работы [1] попытались избежать недостатков традиционных методов и предложили биосенсор на основе, как раз-таки, углеродных нанотрубок. Основная идея “прибора” заключается в изменении проводимости сенсора за счет удаления биорецептора из УНТ при взаимодействии устройства с аналитом (в данном случае с глюкозой). На рис.1. схематически изображен такой аффинный биосенсор*. В качестве демонстрации принципа действия детектора авторами был выбран комплекс глюкоза-конкавалин А-декстран. Конкавалин А (ConA) представляет собой растительный лектин, способный образовывать нековалентную связь с некоторыми углеводами. Декстран (полисахарид) и глюкоза (моносахарид), в свою очередь, обладают способностью связываться с ConA, замещая друг друга. Глюкоза при этом проявляет наибольшую способность к связыванию. Таким образом, при ее взаимодействии с системой ConA-декстран, глюкоза замещает собой декстран в данном комплексе (рис.1) и, в конечном итоге, происходит удаление ConA из одностенной углеродной нанотрубки, что и влияет на проводимость устройства.

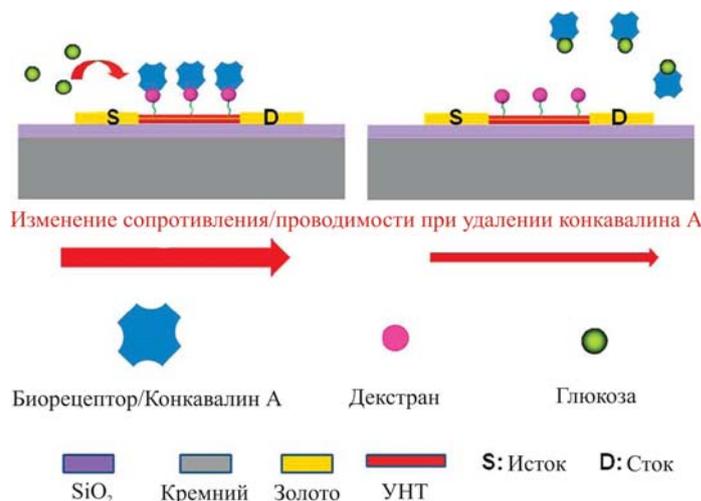


Рис. 1. Схематическое изображение хеморезистивного биосенсора на основе механизма удаления биорецептора.

В процессе изготовления биосенсора, УНТ, прошедшие предварительную обработку, подвергались воздействию производной декстрана – феноксидекстрана (DexP), а затем помещались в раствор конкавалина А, приготовленного особым образом. На рис. 2 представлены вольтамперные характеристики “прибора”, полученные на каждом из этапов

синтеза: сначала при взаимодействии УНТ с DexP, а в дальнейшем и с ConA. При заданном напряжении ток в таком УНТ-устройстве падает на каждом шаге изготовления, однако при добавлении глюкозы проводимость биосенсора возвращается к величине, характерной для декстран-модифицированной нанотрубки, что позволяет сделать вывод об удалении ConA из УНТ.

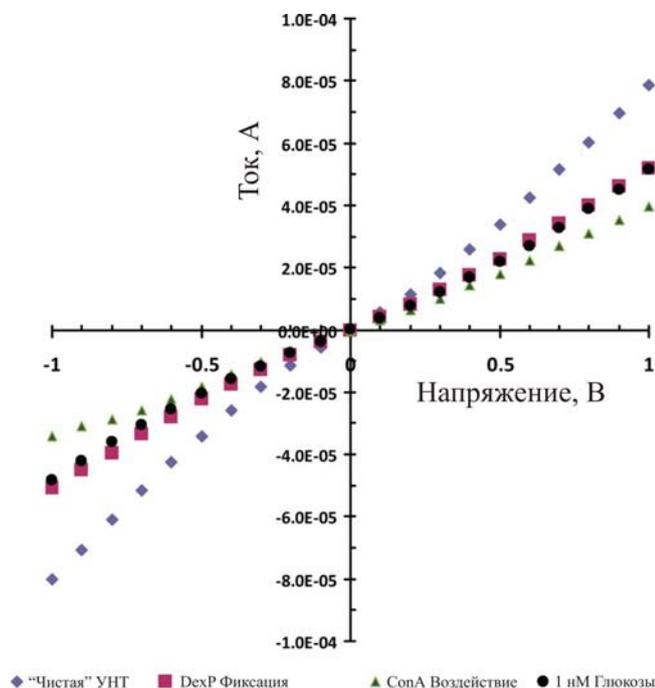


Рис. 2. Вольтамперные характеристики биосенсора на различных этапах его изготовления и при добавлении глюкозы (сокращения см. в тексте).

В конечном итоге, авторам удалось создать сенсор на основе углеродных нанотрубок, который, по их мнению, демонстрирует два новых аспекта: во-первых, это адаптация механизма удаления биорецептора применительно к хеморезистивному сенсору, что позволяет последнему детектировать небольшие молекулы, которые было бы гораздо сложнее обнаружить другими, более традиционными, методами и, во-вторых, получен не содержащий ферментов детектор, способный идентифицировать глюкозу и обладающий высокой чувствительностью в пикомолярном диапазоне наряду с хорошей селективностью. Детектирование столь низких концентраций может оказаться полезным, например, для контроля глюкозы в организме не только посредством анализа таких жидкостей как слезы или слюна, но и на клеточном уровне. Кроме того, авторы предполагают, что апробированная на примере глюкозы методика может быть беспрепятственно расширена на целый ряд других слабо заряженных и незаряженных молекул.

* *Аффинные биосенсоры (affinity biosensors) используют антитела, нуклеиновые кислоты и рецепторы. В аффинных биосенсорах в рецепторном слое происходит реакция вида $A+B \leftrightarrow AB$. В таких реакциях не образуется новых продуктов, происходит связывание молекул A и B*

в комплекс AB. К аффинным биосенсорам относятся сенсоры на ДНК, на антигены и антитела и сенсоры с использованием рецепторов.

М.Маслов

1. L.N.Cella et al., J. Am. Chem. Soc. 132, 5024 (2010).

Действие фуллеренов на клетки человека и растений

Ученых продолжают волновать вопросы воздействия новых наноматериалов на человека и окружающую природу. В ПерсТе сообщалось как об исследованиях на животных, так и об изучении проникновения углеродных наноматериалов (УНМ) в клетки растений [1,2]. Новая работа междисциплинарной группы ученых из Clemson Univ. (США) и Lund Univ. (Швеция) [3] отличается тем, что в ней впервые сравнивается воздействие одних и тех же УНМ на клетки растения и на клетки человека. Оказывается, эффекты резко отличаются. Влияют как структура клеток, так и свойства самих наночастиц (в особенности, гидрофобность/гидрофильность).



В качестве модельных систем растений и млекопитающих были использованы клетки *Allium cepa* - лука репчатого и HT29 клетки человека.

Ученые изучили воздействие двух углеродных наноматериалов - фуллеренов C_{70} и водорастворимых производных фуллерена $C_{60}(OH)_{20}$ (рис.1). Были приготовлены суспензия C_{70} в водном растворе NOM (*NOM* - *natural organic matter* - присутствующая в окружающей среде гетерогенная смесь разложившихся растительных и животных остатков) и водный раствор $C_{60}(OH)_{20}$.

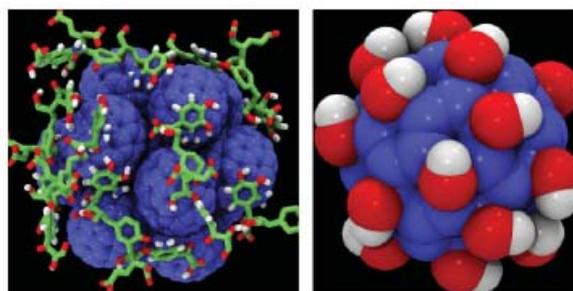


Рис.1. Слева - самосборка агрегатов C_{70} -NOM: молекулы C_{70} показаны синим цветом, остальное – гетерогенная смесь NOM. Справа - одна молекула $C_{60}(OH)_{20}$: молекула C_{60} синего цвета, группы OH – красные с белым.

Агрегаты C_{70} -NOM имели довольно большой разброс в размерах - 18-45 нм при концентрации 10 мг/л; 30-100 нм при 110 мг/л. Размеры и разброс в размерах $C_{60}(OH)_{20}$ существенно меньше: 1.1-1.7 нм при концентрации 10 мг/л; 16-24 нм при 110 мг/л.

Микроскопия и анализ жизнеспособности клеток показали, что благодаря малым размерам и хорошей растворимости молекулы $C_{60}(OH)_{20}$ легко про-

никают через клеточные стенки *Allium cepa*. Через клеточную мембрану эти гидрофильные частицы не проходят, скапливаются между стенкой и мембраной и в итоге вызывают механические повреждения мембраны. Чем выше концентрация, тем сильнее повреждения (рис.2). Некоторое снижение при концентрациях 90-110 мг/л можно объяснить образованием агрегатов в исходном растворе. На рис.3 показан результат воздействия 30 мг/л $C_{60}(OH)_{20}$ при инкубации в течение 9 ч.

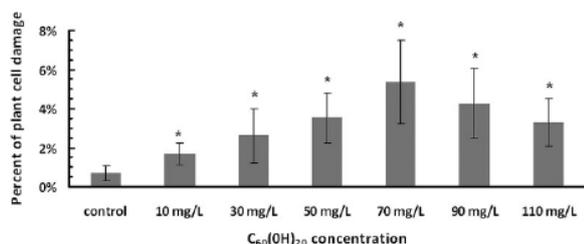


Рис.2. Доля клеточных повреждений *Allium cepa* в зависимости от концентрации $C_{60}(OH)_{20}$.

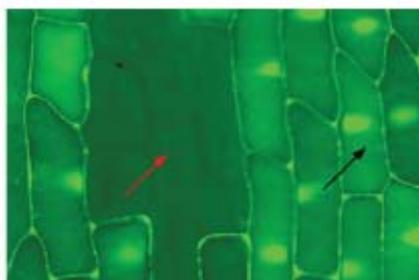


Рис.3. Оптическое изображение клеток *Allium cepa* после воздействия 30 мг/л $C_{60}(OH)_{20}$ (инкубация 9 ч). Черная стрелка указывает на жизнеспособные клетки, красная – на нежизнеспособные.

В отличие от $C_{60}(OH)_{20}$ крупные гидрофобные агрегаты C_{70} -NOM не вызывают повреждений при концентрациях до 70 мг/л включительно. При больших концентрациях (90-110 мг/л) повреждения тоже незначительны - всего на 0.8% больше, чем у контрольного экземпляра. Это объясняется тем, что основная часть C_{70} -NOM захватывается толстой пористой клеточной стенкой (рис.4).

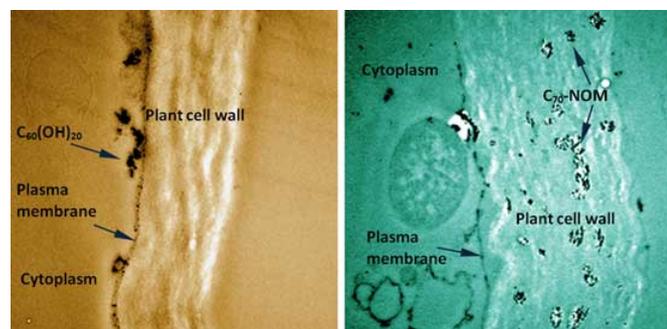


Рис.4. Углеродные наноматериалы в клетках растений. Слева – молекулы $C_{60}(OH)_{20}$, проникшие через клеточную стенку. Справа – кластеры C_{70} -NOM, “застывшие” в толстой клеточной стенке.

В клетках млекопитающих наблюдались совсем другие эффекты. Воздействие C_{70} -NOM (10-110 мг/л) на клетки привело к заметному снижению

числа жизнеспособных клеток, а вот молекулы $C_{60}(OH)_{20}$ оказались безвредными во всем диапазоне концентраций (рис.5). У млекопитающих нет клеточной стенки, и вредное воздействие мелких гидрофильных наночастиц минимизируется, но зато к мембране беспрепятственно подходят и повреждают ее гидрофобные и/или нековалентно функционализированные наночастицы.

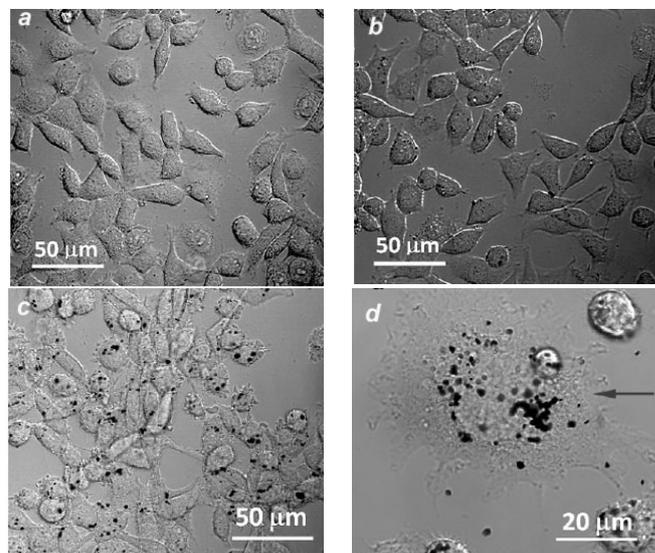


Рис.5. Воздействие УНМ на клетки HT-29: a - контрольный экземпляр; b - клетки в присутствии 30 мг/л $C_{60}(OH)_{20}$ (нет повреждений); c - повреждение клеток в присутствии 30 мг/л C_{70} -NOM, видна агрегация молекул C_{70} ; d - стрелкой показано разрушение клетки после инкубации с C_{70} -NOM (110 мг/л).

Обнаруженные различия в воздействии углеродных наночастиц на клетки растений и млекопитающих помогут внести ясность в некоторые проблемы нанотоксикологии и разработать эффективные и безопасные системы доставки диагностических/лекарственных средств для живых организмов.

О.Алексеева

1. [ПерсТ 16, вып. 23, с. 3 \(2009\).](#)
2. [ПерсТ 16, вып. 19, с. 4 \(2009\).](#)
3. [R.Chen et al., Small 6, 612 \(2010\).](#)

Сенсоры на основе массивов углеродных нанотрубок для контроля мест захоронения отходов

Высокая чувствительность электронных характеристик углеродных нанотрубок (УНТ) к присутствию на их поверхности сорбированных молекул делает их привлекательным объектом для разработки миниатюрных сенсорных устройств, осуществляющих контроль за состоянием окружающей среды. При этом в силу невысокой воспроизводимости существующих методов получения УНТ в качестве основы сенсорного устройства удобно использовать не отдельную нанотрубку, а массив УНТ, средние характеристики которого также чувствительны к присутствию сорбентов, но не подвержены столь значительному разбросу, который присущ отдельным

нанотрубкам. Эффективность такого подхода была продемонстрирована недавно группой итальянских исследователей [1], которые разработали сенсор на основе массива вертикально ориентированных УНТ и использовали его в системе контроля за концентрацией NO₂ в зоне захоронения бытовых и промышленных отходов.

Нанотрубки выращивали методом ВЧ плазменного CVD на Al подложке с размерами 5x5x0.6 мм³ с использованием в качестве катализатора кластеров железа поперечником около 2.5 нм. Эти частицы образовывались из пленки, нанесенной методом магнетронного напыления. Смесь C₂H₂:H₂ в отношении 1:4 при полном давлении 1.5 Торр и температуре 600°C в течение 30 мин прокачивали через разрядную камеру, в которую помещали подложку с катализатором. Это приводило к образованию вертикально ориентированных массивов УНТ диаметром от 5 до 35 нм и высотой до 10 мкм. С целью повышения сорбционной способности УНТ по отношению к молекулярным газам, присутствующим в атмосфере, на слой УНТ с помощью магнетронного напыления наносили кластеры Pt, Ru или Ag. Таким образом, было приготовлено 4 образца – три с металлическим покрытием и один без покрытия. Для проведения измерений электрических характеристик сенсора на верхний слой пленки УНТ напыляли полоски Cr (20 нм)/Au(300нм) с поперечными размерами 1x5 мм², которые служили вторым контактом. Измерения показали, что электрическое сопротивление пленок УНТ в результате покрытия кластерами Pt, Ru или Ag снижается от 100–120 Ом до 70–100 Ом. Испытания сенсора проводили в диапазоне температур от 20 до 250°C в многокомпонентных смесях CO₂, CH₄, H₂, NH₃ и CO различного состава с добавлением и без добавления NO₂. Испытания показали, что независимо от наличия и типа металлического покрытия электрическое сопротивление всех образцов снижается в результате сорбции NO₂. При этом максимальный сигнал наблюдался для образцов, покрытых Ru и Ag, в то время как покрытие нанотрубок кластерами Pt приводит к снижению уровня сигнала по сравнению даже с исходным, необработанным образцом. Оптимальная температура с точки зрения максимального сигнала сенсора зависит от типа покрытия образца. Она составляет 150°C, 125°C, 120°C и 90°C для исходного образца, и для образцов, покрытых кластерами Pt, Ru и Ag, соответственно. Все пере-

численные выше модификации сенсора уверенно регистрируют наличие в газовой смеси примеси NO₂ при концентрации на уровне 10⁻⁴%.

А.Елецкий

1. M.Penza et al., *Nanotech.* **21**, 105501 (2010).

КОНФЕРЕНЦИИ

VI Международная конференция “Фазовые превращения и прочность кристаллов”, посвященная памяти академика Г.В. Курдюмова, 16-19 ноября 2010 г., Черногоровка, Россия

Важные даты:

- до 15 мая 2010 г. - регистрация и предварительная заявка на гостиницу
- до 1 июля 2010 г. - отправка тезисов докладов

Web: <http://www.mks-phys.ru>

Второй Международный междисциплинарный симпозиум “Физика низкоразмерных систем и поверхностей” (LDS-2), 3-8 сентября 2010 г., пос. Лоо, Краснодарский край

Для участия в работе симпозиума следует зарегистрироваться и выслать доклады по e-mail: org.lds@gmail.com до 1 июня 2010 г.

Web: http://www.ip.rsu.ru/?part=news&news_id=41

XIII Международный междисциплинарный симпозиум “Фазовые превращения в твердых растворах и сплавах” (ОМА-13) 9-15 сентября 2010г., пос. Лоо, Краснодарский край

Для участия в работе симпозиума следует зарегистрироваться и выслать доклады по e-mail: org.oma.odpo@gmail.com до 1 июня 2010 г.

Web: http://www.ip.rsu.ru/?part=news&news_id=42

XIII Международный междисциплинарный симпозиум “Порядок, беспорядок и свойства оксидов” (ODPO-13), 16-21 сентября 2010 г., пос. Лоо, Краснодарский край

Для участия в работе симпозиума следует зарегистрироваться и выслать доклады по e-mail: org.oma.odpo@gmail.com до 1 июня 2010 г.

Web: http://www.ip.rsu.ru/?part=news&news_id=43

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, А.Елецкий, М.Маслов, Л.Опенев, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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