

НАНОСТРУКТУРЫ

Молекулярный ключ (МИЭТ, Зеленоград)

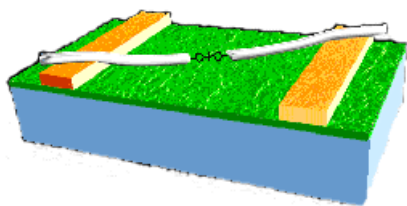


Рис. 1. Компьютерное изображение структуры с молекулярным каналом проводимости и нанотрубками в качестве электродов (нанотрубки в свою очередь лежат на контактных дорожках).

В октябре 2001 года сотрудники компании Bell Labs, среди которых был

скандально известный J.H.Schon, сообщили без особых подробностей о создании молекулярного транзистора с применением так называемой химической самосборки [1]. Это сообщение, возможно, подстегнуло многие исследовательские группы, получившие в последнее время заметные результаты [2].

Экспериментальные образцы молекулярных транзисторов созданы и в России [3]. Коллектив авторов из МИЭТа (Зеленоград) И.И. Бобринецкий, В.К. Неволин, С.В. Хартов, Ю.А. Чаплыгин воспроизвели результаты работы одного из соавторов, полученные 1989 г. [4,5] и, применив новые идеи, смогли создать планарные образцы молекулярных нанотранзисторов. Между проводящими дорожками, сформированными на оксиде кремниевой подложки, осадили многостенную углеродную нанотрубку. Эффект управляемости полем затвора для такой нанотрубки отсутствовал (в качестве затвора выступал находящийся под оксидом слой легированного кремния). Затем нанотрубку разрезали при помощи зонда атомно-силового микроскопа (рис. 2).

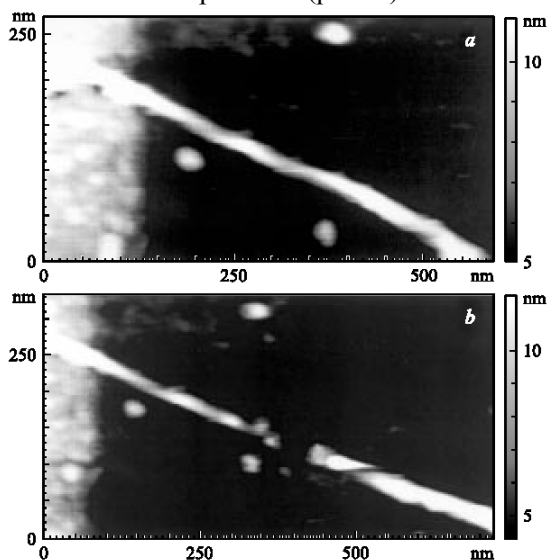


Рис. 2. АСМ изображения многостенной углеродной нанотрубки до (а) и после (б) операции разрезания (слева видна одна из проводящих дорожек)

Макромолекулы полимера, из которых образуется управляемый молекулярный канал, должны удовлетворять нескольким условиям: быть достаточно линейными, иметь в своем составе регулярно повторяющиеся бензольные кольца, а

также иметь на концах активные образования для «самосборки» в длинные каналы проводимости. На роль такого полимера выбрали эпоксидную смолу, которую предварительно подвергли

И далее ...

НАНОСТРУКТУРЫ

2 Фано и Кондо в одной упаковке

3 Шаттл для электронов

3 Транзистор ловит терагерцы

СВЕРХПРОВОДНИКИ

4 Этот загадочный моттовский переход

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

5 Молекулярный мотор из нанотрубки

5 Съёмный диск памяти на основе углеродных нанотрубок с ёмкостью на уровне терабайт

5 Источник сканирующего рентгеновского излучения с катодом на основе углеродных нанотрубок

6 Поверхностный механизм роста углеродных нанотрубок

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

6 Неразрушающие измерения и квантовый компьютер

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

7 Умные нанопокртия

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

8 Бюджетные планы предрекают трудные времена для науки в Японии

стандартной процедуре электроочистки, в результате которой остаточное объемное сопротивление составляло не менее 10^{10} Ом см. Микрокаплю смолы наносили на область проводящих дорожек, содержащую разрезанную нанотрубку, так что зазор, образованный при разрезе нанотрубки, оказывался заполненным полимерной матрицей. При подаче напряжения между концами нанотрубки менее 10В, в полимерной матрице организовывался проводящий молекулярный канал, который управлялся поперечным электрическим полем затвора (рис. 1).

Такое устройство проявляло свойства транзистора (рис. 3). При резком изменении управляющего поля (переключении напряжения затвора с -20 на +20В, со временем переходного процесса порядка 0.1мс) проводимость канала исчезала. Для восстановления проводимости, необходимо было вновь подать напряжение сток-исток около 10В. В этих режимах экспериментальное устройство проявляло свойства энергонезависимой ячейки памяти. Поскольку выключение канала можно осуществлять при протекании по нему тока, то устройство в таком режиме работы можно интерпретировать как молекулярный ключ.

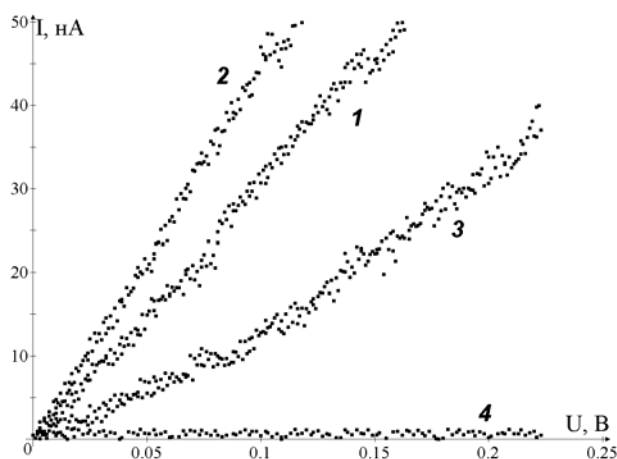


Рис. 3. ВАХ цепи с молекулярным проводником при различных напряжениях затвора U_g : 1 – $U_g = 0$ В; 2 – $U_g = -20$ В; 3 – $U_g = 20$ В. Кривая 4 соответствует молекулярному проводнику в «выключенном» состоянии, вызванном резким изменением поперечного электрического поля.

1. www.bell-labs.com/news/2001/october/17/1.html
2. Tsukagoshi K., Yagi I., Aoyagi Y. *Appl. Phys. Lett.* 2004, **85**, 1021
3. Бобринецкий И.И., Неволин В.К., Хартов С.В., Чаплыгин Ю.А. *Письма в ЖТФ* 2005, **31**, 57
4. Неволин В.К. *Электронная техника. Сер.3. Микроэлектроника* 1989, №3, с.58
5. Неволин В.К., Бессольцев В.А. *Патент РФ №4905010 с приоритетом от 24.01.1991г.*

Фано и Кондо в одной упаковке

В Univ. Токуо изготовили структуру, в которой протекание тока выявляет эффекты Фано и Кондо в комбинации (рис. 1с). Структура сформирована из двумерного электронного газа с помощью сложной конфигурации затворов (рис. 1б).

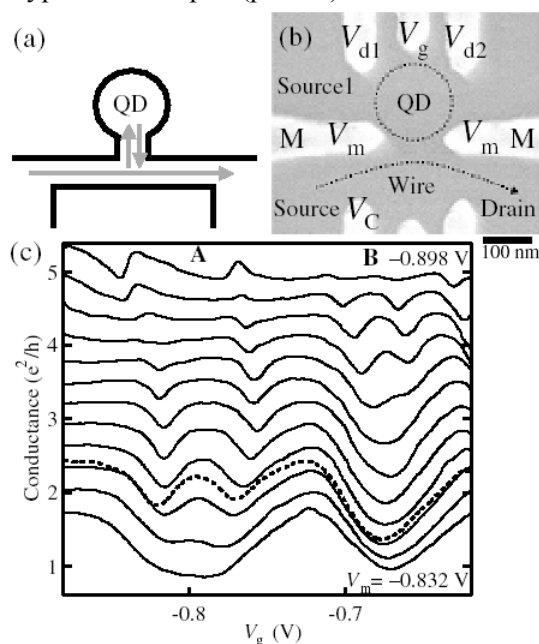


Рис. 1: а) схематический вид устройства, б) вид сверху на систему электродов, с) зависимость проводимости канала от напряжения на затворе V_g , который управляет потенциалом квантовой точки, для различных напряжений на затворах V_m , которые управляют прозрачностью барьера между точкой и нитью.

Работу прибора объясняет рис. 1б, где представлена квантовая нить с присоединенной к ней сторонней квантовой точкой с некоторым количеством электронов. Пробегаая по нити, электрон может проникать в квантовую точку. В этом случае происходит интерференция двух путей распространения электронной волны в волноводной системе: с заходом в квантовую точку и без захода. Иными словами, происходит взаимодействие непрерывного спектра состояний электрона в квантовой нити (континуума) с локализованным состоянием в квантовой точке. Оказывается, если энергии электрона в квантовой нити и состояния в квантовой точке совпадают (резонанс), то возникает деструктивная интерференция, в результате которой электрон в квантовой нити отражается назад. Ток падает, а на вольт-амперной характеристике наблюдается провал. Это явление называют антирезонансом Фано. Любопытно, что подобный эффект одновременно рассмотрели Фано и Андерсон, но только Фано приложил его к атомной физике, а Андерсон - к физике твердого тела. Вследствие этого резонанс связывают то с фамилией Фано, то с фамилией Андерсона. Если энергия состояния в квантовой точке зависит от спина электрона, а это действительно так, поскольку величина обменной энергии между электронами зависит от их спиновой

конфигурации, то это уже затрагивает эффект Кондо. Кондо впервые ввел в рассмотрение подобные процессы и объяснил с их помощью аномалии сопротивления металлов с магнитными примесями при низких температурах. Интерес к эффекту Кондо резко оживился после того, как его стали наблюдать в наноструктурах. Привлекательность эффекта обусловлена и теоретическими проблемами его расчета. Дело в том, что расчет в низшем порядке теории возмущений может давать вполне "спокойный" результат, в то время, как в высших порядках может возникать расходимость. В рассматриваемом эксперименте наблюдали как раз сочетание эффекта Фано с эффектом Кондо, что приводит к т.н. Фано-Кондо антирезонансам.

Наблюдение этого эффекта дает информацию о спиновой релаксации в системе. Отметим также, что представленный прибор может служить прообразом структуры для измерения состояния спина одиночного электрона в квантовой точке с помощью квантовой нити. Измерение состояния одиночного спина является насущной проблемой в твердотельных квантовых компьютерах.

В.Вьюрков

1. Phys. Rev. Lett. 2005, 95 066801

Шаттл для электронов

Харьковские физики Р.Шехтер и Л.Горелик, которые сейчас работают в Университете Гетеборга (Швеция), несколько лет назад изобрели одноэлектронный прибор, названный ими шаттлом. Фактически, он является вариантом одноэлектронного транзистора с подвижным центральным островком (рис. 1).

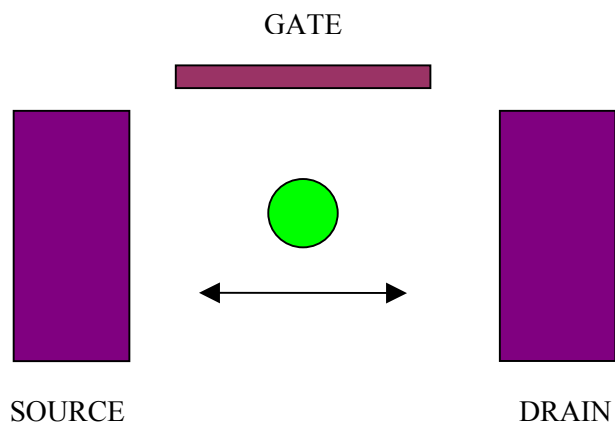


Рис. 1. Схематическое изображение шаттла: центральный островок перемещается между контактами истока и стока, потенциал на нем управляется затвором.

Когда островок касается левого берега (через туннельный контакт), на него садится электрон. После этого островок начинает притягиваться к правому берегу. Причालив к нему, электрон высаживается на берег. Островок снова возвращается к правому берегу и процесс повторяется. Описанные колебания возникают, естественно, при определенных напря-

жениях на затворе и между берегами (исток и стоком).

По сравнению с обычным одноэлектронным транзистором, предложенная структура замещает одноэлектронные эффекты кулоновского взаимодействия с механическим перемещением. Кроме увлекательной физики, квантовый электромеханический прибор, каковым и является шаттл, может иметь и практические применения. Оказывается, частота механических колебаний в нем способна достигать терагерцового диапазона. Экспериментально эффект шаттла наблюдали в структуре, в которой металлическая гранула размером несколько нанометров была подвешена между металлическими контактами с помощью органических молекул, выполняющих роль пружинок. Не исключено, что эффект шаттла реализуется и в нерукотворной природе.

В недавней публикации [1] были рассмотрены спиновые эффекты в этой структуре, которые основаны не только на кулоновской, но и на спиновой блокаде. Один из вариантов работы устройства следующий. Представим себе, что берега изготовлены из ферромагнетиков с определенной намагниченностью, а центральный островок – из немагнитного материала. Электрон с левого берега усаживается на островок. Далее, если в зазоре приложено магнитное поле, перпендикулярное направлению спина, то в течении времени перемещения островка происходит прецессия спина. Если времени будет достаточно, то спин успеет перевернуться на противоположный. Тогда электрон не сможет высадиться на правый берег. Это и есть спиновая блокада тока. В этом варианте шаттл можно использовать как чувствительный датчик магнитного поля.

В.Вьюрков

1. Phys. Rev. Lett. 2005, 95 057203

Транзистор ловит терагерцы

Одновременно с проблемой генерации терагерцового излучения существует и проблема его регистрации. Пока не созданы достаточно мощные и компактные источники, однако мощные, но громоздкие, источники есть. Мощность терагерцового излучения, достаточную для исследования ряда объектов, например, органических молекул, можно получить от синхротронов или при облучении кристаллов (*ZnTe*) фемтосекундными лазерными импульсами. Для детального исследования малых объектов требуется компактный приемник. Желательно, чтобы он работал при комнатной температуре.

Большая группа исследователей из разных мест, которую координирует М.Шур (Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, США), недавно продемонстрировала, что коммерческий *GaAs* полевой транзистор (*HEMT*) с длиной затвора 250нм успешно справляется с этой задачей. Чувствительность транзистора к этому излучению обусловлена генерацией плазменных волн в его канале. Этот эффект

был предложен Дьяконовым и Шуром в 1996 году. Транзистор показал чувствительность, достаточную для практических применений. По-видимому, чувствительность можно значительно увеличить, если использовать специальный транзистор, оптимизированный с целью более эффективной генерации плазменных волн. Напомним, что эта же группа исследователей занимается задачей использования подобных транзисторов в качестве источников терагерцового излучения. Их работа основана на возбуждении плазменных колебаний в канале транзистора при протекании тока.

В.Вьюрков

1. *Appl. Phys. Lett.* 2005, **87**, 022102

СВЕРХПРОВОДНИКИ

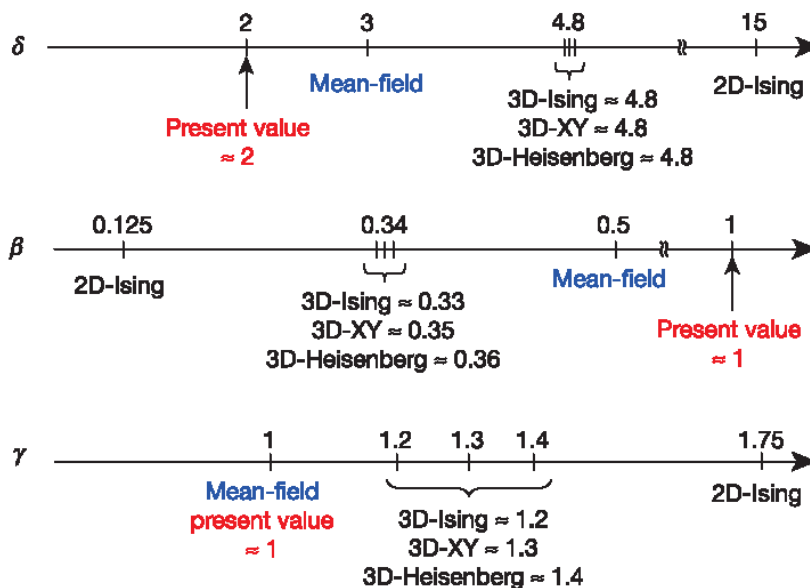
Этот загадочный моттовский переход

Изменение взаимодействия между частицами большой системы (например, за счет изменения давления или температуры) может привести к фазовому переходу. Поведение ансамбля частиц в непосредственной окрестности точки перехода (так называемое критическое поведение) отражает характер многочастичного коллективного состояния. Несмотря на то, что фазовые переходы наблюдаются в самых различных физических системах – атомных, молекулярных, электронных, спиновых и т.д., каждый из них можно отнести к одному из нескольких основных типов – так называемых “классов универсальности”, которые описываются каноническими спиновыми моделями. Класс универсальности определяется размерностью физической системы, размерностью параметра порядка и радиусом межчастичного взаимодействия. Сейчас значительное внимание уделяется изучению перехода Мотта из металлического в диэлектрическое состояние, обусловленного корреляционными эффектами в системе носителей тока. Существенно, что сверхпроводимость слоистых ВТСП и некоторых низкоразмерных органических соединений возникает именно вблизи такого перехода. Строго говоря, мот-

товский переход металл-диэлектрик не является фазовым переходом в обычном термодинамическом понимании этого термина. Однако в его теории широко используется аналогия с переходом жидкость-газ и тоже вводится понятие критической точки. Поэтому большой интерес представляет вопрос о том, к какому классу универсальности относится поведение системы (особенно двумерной) вблизи такой критической точки. Ответа на него пока нет.

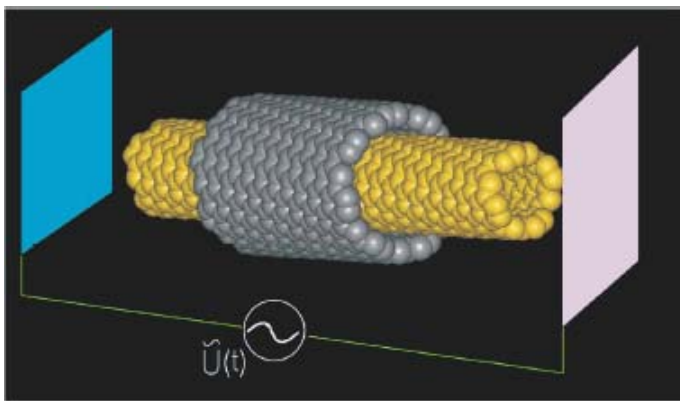
В работе сотрудников Токийского университета [1] исследованы критические характеристики моттовского перехода в квазидвумерном органическом проводнике $k\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu[N(CN)}_2\text{]Cl}$. На основании результатов измерения проводимости вблизи T_c и P_c были определены критические индексы $\delta = 1.9 \div 2$, $\beta = 0.9 \div 1$ и $\gamma = 0.9 \div 0.1$. Такой набор критических индексов ранее нигде не наблюдался. Более того, для известных переходов величина δ никогда не бывает меньше 3, а β – больше 0.5, поскольку $\delta = 3$ и $\beta = 0.5$ в приближении среднего поля, а эффекты локальных флуктуаций, которые способствуют упорядочению, приводят к увеличению δ и уменьшению β . Отклонение δ и β в другую сторону от среднеполевых значений указывает на ослабление тенденции к упорядочению. Выходит так, что критическое поведение вблизи моттовского перехода в двумерной системе не относится ни к одному из известных классов универсальности (среднее поле, 2D-Изинг, 3D-Изинг, 3D-XY и т.д., см. рисунок). Таким образом, двумерная система сильно коррелированных электронов демонстрирует аномальное коллективное поведение, которое не может быть описано в рамках известных моделей. Выяснение физических механизмов, ответственных за эту аномалию, позволит, возможно, разобраться наконец с явлением высокотемпературной сверхпроводимости.

1. *Nature* 2005, **436**, 534



ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Молекулярный мотор из нанотрубки



Молекулярными моторами называют устройства, способные на молекулярном уровне преобразовывать химическую, электрическую или какую-либо другую энергию в механическую. Для создания молекулярного мотора японские ученые предложили использовать двустенную углеродную нанотрубку, помещенную в газообразный гелий [1]. Теоретические расчеты показывают, что достаточно приложить к нанотрубке переменное напряжение, и внешняя стенка начнет вращаться вокруг внутренней. Дело в том, что из-за различия хиральности этих слоев потенциал взаимодействия между ними оказывается асимметричным, и нарушение теплового равновесия с окружающим гелием при периодическом изменении длин межатомных связей в электрическом поле приводит к возникновению вращающей силы. Для работы такого мотора потребуются напряжения $U \sim 3\text{В}$ с частотой $f \sim 1\text{ГГц}$ на длине $l \sim 0.1\text{мкм}$.

1. *Phys. Rev. B* 2005, **72**, 033404

Съемный диск памяти на основе углеродных нанотрубок с емкостью на уровне терабайт

Наиболее эффективный способ хранения информации для персональных компьютеров - съемные диски памяти, отличающиеся низкой потребляемой энергией и не требующие использования быстро движущихся элементов при считывании. Недостатки таких систем - относительно высокая удельная стоимость хранения информации и ограниченная емкость памяти (на уровне 1Гб). Сотрудники Rensselaer Polytechnic Institute (Тroy, США) предложили способ преодоления этих недостатков применением устройства памяти на основе углеродных нанотрубок (УНТ), которые отличаются миниатюрными размерами и хорошими электрическими характеристиками [1]. Принцип работы предлагаемого устройства основан на спиновой чувствительности гибридных переходов магнит-немагнит-магнит, в которых вектор магнитного потока имеет различное значение с двух сторон от потенциального барьера, определяющего величину туннельного тока через переход. Для обеспечения туннельного тока необходимо дополнительное возбуждение (например, термическое возбуждение). Вольт-амперная характеристика подобного

устройства - асимметрична, степень анизотропии определяется разностью магнитных потоков по обе стороны барьера.

Для реализации рассматриваемой схемы используют ферромагнитные материалы, либо заполняющие углеродную нанотрубку, либо играющие роль матрицы для нанотрубок, пересекающихся под некоторым углом. При этом запись информации производится пропусканием импульса тока через переход, что приводит к возникновению магнитных полей, параллельных осям нанотрубок и ориентированных под острым углом друг к другу. Кроме того, прохождение тока через переход вызывает локальный нагрев примыкающей к нему области, что приводит к изменению направления магнитного потока в данной области. При считывании информации используют импульс тока меньшей амплитуды, который не в состоянии изменить намагниченность образца. При этом, если направление записывающего тока совпадает с направлением считывающего, то падение напряжения на переходе будет ниже, чем в противоположном случае. Указанный эффект лежит в основе действия устройства памяти. Как показывают оценки, при использовании мономолекулярного слоя нанотрубок диаметром 30нм рассматриваемое устройство памяти может обладать удельной емкостью порядка 40Гбит/см². Удельная емкость трехмерной структуры подобного типа может достигать величин порядка 10¹⁵бит/см³, что при толщине слоя 1мм и площади 1см² соответствует емкости памяти на уровне 10Терабайт.

А.В.Елецкий

1. *Appl. Phys. Lett.* 2005, **86**, 093106

Источник сканирующего рентгеновского излучения с катодом на основе углеродных нанотрубок

Наиболее информативный метод исследования объемных предметов с помощью рентгеновского излучения основан на компьютерной томографии. Для реализации этого метода необходимо использовать либо один движущийся источник рентгеновского излучения, направляя его на исследуемый объект под различными углами, либо несколько таких источников, закрепленных в различных точках пространства. Это делает установки для рентгеновской томографии весьма громоздкими и дорогими, что препятствует их широкому распространению в медицине и технологии. Проблему можно решить использованием полевых эмиссионных катодов на основе углеродных нанотрубок (УНТ), которые отличаются миниатюрными размерами и высоким пространственным разрешением.

Такая конструкция разработана недавно группой исследователей из Univ. North Carolina и Xintek, Inc. (США) [1]. Созданный ими многолучевой источник рентгеновского излучения включает в себя полевой эмиссионный катод, состоящий из пяти управляемых эмиттеров, фокусирующие электроды и молибдено-

вую мишень, работающую в режиме отражения. Установка помещена в вакуумную камеру с остаточным давлением 10^{-7} Торр и окном из *Be* диаметром 10 см. В качестве катода использовали пленку УНТ, нанесенную на металлическую подложку методом электрофореза. Каждый из эмиттеров был связан электрически с заземленным *n*-канальным МОП транзистором. Затвор этого транзистора подключен к цифровому устройству, являющемуся источником сигнала постоянного напряжения 5 В. Как показывают измерения, выполненные в триодной схеме, плотность тока электронной эмиссии 1 мА/см^2 достигается при напряженности электрического поля в диапазоне 2.3 – 3.1 В/см. При более высоких полях плотность тока может достигать величин порядка 1 А/см^2 . Рентгеновское излучение создается при постоянном напряжении на аноде 40 – 60 кВ и переменном напряжении с амплитудой около 1 кВ, приложенном к управляющим электродам. Специальная схема обеспечивает возможность подключения анодного напряжения к каждому из эмиттеров. Это обеспечивало сканирование электронного луча по поверхности мишени и, тем самым, сканирование рентгеновского луча по исследуемому объекту. При испытаниях установки получены изображения лезвия хирургического скальпеля, расположенного на расстоянии 15 см от анода и ориентированного под различными углами к рентгеновскому лучу. Качество изображений и относительная простота устройства указывают на большие перспективы использования полевых эмиссионных катодов на основе УНТ в портативных рентгеновских томографах.

А.В.Елецкий

1. *Appl. Phys. Lett.* 2005, **86** 184104

Поверхностный механизм роста углеродных нанотрубок

Несмотря на значительный интерес исследователей к проблемам, связанным с получением, исследованием и возможным использованием углеродных нанотрубок (УНТ), механизм роста этих структур до сих пор однозначно не установлен. Различные гипотезы, основанные на некоторых предположениях о роли катализатора в процессе роста УНТ, не получили исчерпывающего экспериментального подтверждения, что связано с недостатком экспериментальных работ, допускающих однозначную интерпретацию. Некоторую ясность в эту проблему вносят результаты, полученные недавно в Japan Fine Ceramics Center (Нагоя, Япония). В этой работе образование многослойных УНТ происходило в результате поверхностного термического разложения *SiC*. Монокристаллические пластинки из карбида кремния *SiC* размером $1 \times 2 \text{ мм}^2$, очищенные с помощью ультразвука в дихлорметане, ацетоне и этиловом спирте, нагревали в вакууме 10^{-4} Тор со скоростью 15°C/мин. до температуры 1700°C и выдерживали при этой температуре в течение 30 мин. Как показывают наблюдения, выполненные с по-

мощью просвечивающего электронного микроскопа, в результате нагрева происходило термическое разложение карбида кремния и последующее испарение атомарного кремния. Оставшийся углерод образовывал углеродные нанотрубки (УНТ) с числом слоев от одного до семи, ориентированные перпендикулярно поверхности пластинки и плотно примыкающие друг к другу. Из анализа полученных изображений следует, что нанотрубки имеют широкое распределение по диаметрам, причем число слоев в нанотрубках строго пропорционально их диаметру. В результате превращения материала *SiC* в УНТ полная толщина пластинки не изменилась. Это заключение подтверждается оценочными расчетами, согласно которым объем, заполненный плотно упакованными нанотрубками, примерно равен объему исходного материала. Выполненный эксперимент позволяет сделать заключение о механизме роста УНТ в отсутствие катализатора. Согласно выводам авторов, при температуре около 2000°K происходит эффективная трансформация аморфного углерода в материал, состоящий из многослойных углеродных нанотрубок. При этом использование в качестве исходного материала карбида кремния позволяет избежать образования термодинамически более стабильного кристаллического графита.

А.В.Елецкий

1. *Appl. Phys. Lett.* 2005, **87**, 103105

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Неразрушающие измерения и квантовый компьютер

Задача организации взаимодействия между кубитами для создания запутанных состояний, на которых основаны квантовые алгоритмы, является весьма сложной. Мало того, что взаимодействие бывает очень не просто устроить, его еще нужно с огромной точностью контролировать. Если дорога трудна, пытаются идти в обход. Идея возникла в области оптических квантовых компьютеров. Здесь долгое время прогресс тормозился отсутствием среды с достаточно сильным взаимодействием фотонов. Наконец удалось показать, что без взаимодействия можно вообще обойтись. Квантовую логическую операцию *CNOT* можно выполнить только с помощью линейных оптических элементов и процедур измерения поляризации.

Швейцарские ученые Н.-А.Engel и D.Loss (Univ. Basel) адаптировали эту идею к области твердотельных квантовых компьютеров на спиновых состояниях электронов. Конечно, идея была использована в самых общих чертах, поскольку электроны, в отличие от фотонов, являются фермионами и обладают спином и зарядом. Задача состояла в проведении неразрушающего частичного белловского измерения состояния двух спиновых кубитов. Оказывается, что для осуществления операции *CNOT* между невзаимодействующими кубитами, доста-

точно выяснить, имеют ли оба кубита направление спинов в одну сторону или в противоположные. Для электронных спинов это измерение можно произвести с помощью двойной квантовой точки.

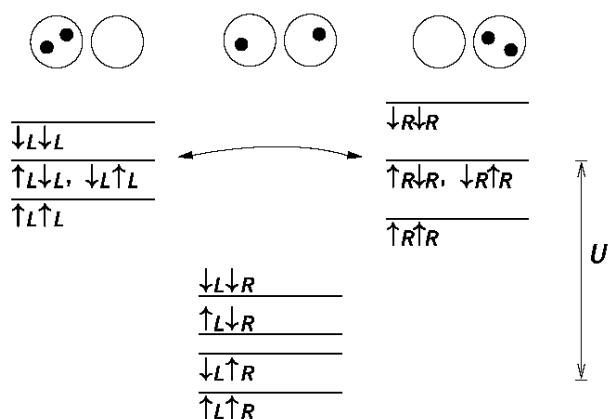


Рис. 1. Структура уровней энергии системы двух электронов в двух квантовых точках.

На рис. 1 приведена структура уровней энергии системы двух электронов в двух квантовых точках, когда оба электрона находятся в левой точке (LL), в разных точках (LR) или в правой точке (RR). Учтено кулоновское взаимодействие, приводящее к большому понижению энергии в состоянии (LR), а также зеемановская энергия во внешнем магнитном поле, причем, очень существенен разный g-фактор электронов в правой и левой точке. На рисунке уровни, отмеченные стрелкой, приведены в резонанс, а остальные выведены из резонанса. Это означает, что, если в левой точке спины электронов антипараллельны, то они могут перейти в правую точку, а, если параллельны, то нет. Факт перехода может быть зарегистрирован любым детектором, чувствительным к заряду, например, одноэлектронным транзистором или точечным контактом.

Авторы утверждают, что работа открывает перспективу создания квантовых компьютеров на спиновых состояниях, поскольку снимает проблему организации взаимодействия спинов. Есть, правда, несколько мелких замечаний в статье, которые при беглом чтении совершенно не затрудняют продвижение к этому финальному выводу. Однако, именно они могут погубить всю идею. Во-первых, трудно создать существенно различный g-фактор в разных квантовых точках. Во-вторых, состояние с противоположными спинами может соответствовать как полному спину $S=0$, так и $S=1$, у которых разная обменная энергия. Величина обменной энергии может быть сравнима с кулоновской.

В.Вьюрков

1. *Science* 2005, **309**, 586

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Умные нанопокрyтия

Одежда с компьютерами, вплетенными в ткани... Микророботы, ведущие ремонт с инструментами размером с вирус.... Нет вопросов: нанотехнология

– прикладная наука об очень малом – создала свою сферу суперрекламы (megahype). Для компаний, исследующих наноматериалы, выгода (прибыльность) является приоритетом, и не в воображаемом будущем, а тотчас. Многие считают, что технология тем красивее, чем тоньше «кожа», с которой она работает. На недавней конференции (Fourth Annual Smart Coatings Conference, 9–10 June 2005, Берлин) ученые со всего мира обменивались новостями о попытках ввести нанотех в покрытие поверхностей с новыми свойствами, например, уже вышли в продажу лаки с наполнителем из наночастиц, сочетающие устойчивость к царапанью, свойственную неорганическим кристаллам, с гибкостью органических пластиков. Ученые предложили взглянуть на содержание следующей волны наноприменений, которые войдут в повседневную жизнь.

Борьба с коррозией

Крупнейшая задача индустрии покрытий – замедлить коррозию: ржавчина на трубах, разрушение кирпичей, гниение древесины. Высший приз получит покрытие, которое предохранит сталь от коррозии. Сейчас самые лучшие покрытия проницаемы для диффузии кислорода к поверхности металла. Коррозия развивается в перегруженных зонах, когда начинает отслаиваться покрытие. Разрушение начинается в микроскопических трещинах или раковинах, появляющихся с износом. Именно здесь нанотехнология может прийти на помощь. Ученые работают над покрытиями, которые делают возможным самозалечивание корродирующей металлической поверхности. Активное окисление дефектных мест понуждает наночастицы высвобождать ионы, подавляющие коррозию. Когда дефект залечен, покрытие прекращает высвобождение ионов до следующей «атаки». Но тут есть ловушка. Так как коррозию «опознают» врожденно проводящие полимеры (ВПП), углеродные цепи, по которым могут течь заряды (как в микрочипах по проводникам), реально способствуют коррозии, если условия не контролируются. Конструирование «умных» ВПП покрытий, которые сохраняли бы свои свойства в непредсказуемых условиях, – непростая задача. Исследователи надеются найти вместо хромирования другие универсальные материалы покрытий, защищающих от коррозии. Хроматы придают металлическим покрытиям отличную устойчивость против коррозии, однако, при разложении они выделяют токсичные вещества.

Борьба с огнем

Наноматериалы могут также помочь загнать в безвыходное положение «вредного кузена» ржавчины – огонь. Покрытия, препятствующие распространению пламени, уже с 1970 года широко использовались, несмотря на серьезный недостаток – более 90% смертельных случаев на пожарах связаны не непосредственно с огнем, а с выделением ядовитых газов. Причем многие из них происходят из самих покрытий, сдерживающих пламя, так что поиск альтернатив этим составам, содержащим токсичные

эпоксидные смолы или акрилаты, помог бы сохранить жизни людей. Ученые работают над созданием новых покрытий с наночастицами оксидов алюминия и кремния, замедляющих воспламенение. Малый размер частиц позволяет вводить их в водные суспензии, избегая токсичных органических компаундов. Остается только проблема относительно высокой температуры (100 °C), необходимой для их нанесения, т.е. покрывать ими пока можно только сталь и алюминий, но нельзя отделять стены внутри помещений, где это особенно нужно.

Другой подход – придать поверхности способность самой подавлять огонь. Испытываемый компаунд, имеющий при комнатной температуре поведение и внешний вид обычного лака, в пламени мгновенно взрывается в слой углеродной пены, представляющей собой так называемый керамизированный эластомер. Для проверки его свойств исследователи покрывали деревянную лестницу и отжигали при 900 °C в течение получаса. После такой обработки ступени лестницы остались достаточно прочными, выдерживая 100 кг нагрузку.

Борьба с бактериями

Исследователи даже вводят эти стойкие покрытия в сценарии хуже некуда. Специалисты по молекулярной биологии работали над защитным покрытием против биологического и химического оружия. Разработан биореактивный пластик, наполненный антителами и ферментами, которые обеззараживают поверхность, как только на нее попадают патогены или яды. Ферменты разлагают различные яды на безобидные малые молекулы. Для каждого патогенного объекта (например, сибирской язвы или оспы) соответствующие антитела лежат «в засаде», чтобы захватить их с помощью ближайших ферментов. Проблема только в том, что белки функционируют только во влажной солевой среде внутри организма. Но после многих попыток биологи установили, что в материале, задерживающем воду (например, полиуретане), после 20 недель 60% ферментов остается активными. Можно создать самоочищающуюся камеру, внутри которой человек может находиться в полной безопасности. Или наносить белки на внешнюю поверхность защитной оболочки. Можно также создать укрытие с «тревожной» системой, предупреждающей о начале невидимой атаки.

Антимикробные покрытия могут также скоро найти свою нишу в операционных или для медицинских приборов, например, катетеров, которые должны на длительный срок оставаться в теле человека. Главное препятствие сейчас в высокой стоимости антибактериальных нанопокровов. Но, как только они станут дешевыми и докажут свою эффективность, они станут таким же обычным явлением, как «что-либо покрасить».

1. *Science*, 2005, 309, 376

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Бюджетные планы предрекают трудные времена для науки в Японии

Япония должна снизить общие правительственные расходы из-за гигантского национального долга, который при размере бюджета в 8.2 трлн. долл. США составляет до 170% общего национального продукта. Но до сих пор правительство вынуждено было уводить бюджет исследований от урезания, пытаясь поднять глобальную конкурентоспособность. Следующий год в Японии может оказаться годом скудных финансов, и впервые крайнюю нужду могут также ощутить фундаментальные исследования. Министерство финансов пытается урезать 1.5% от полного бюджета. Исследования, включающие основную грантовую систему, составляют треть от бюджета Японии на науку и технологию в 3.6 трлн. иен (33 млрд. долл.). Министерство финансов предложило урезать на 2-3% бюджет на исследования. Чтобы справиться с этими ограничениями, правительство хочет задать приоритеты в распределении денег на исследования. Оно планирует сфокусироваться на крупномасштабных проектах, таких как космические полеты и суперкомпьютеры, которые за последние годы понесли потери в пользу нанотехнологии и наук о жизни. Среди заглавных проектов от Министерства образования названы «Система глобального наблюдения за Землей» (это – десятилетний международный проект по созданию международной системы наблюдения за Землей, и Министерство ищет 27.6 млрд. иен (253 млн. долл.) для вклада Японии в следующем году) на усовершенствование технологии анализа протеймики и исследование ДНК.

1. *Nature* 2005, 437, 181

Экспресс-бюллетень ПерсТ издается совместной информационной группой
ИФТТ РАН и РНЦ «Курчатовский институт» при поддержке
Программы Президиума РАН «Информатизация»

Редактор: С.Корецкая тел: (095) 930 3389, e-mail: stk@issp.ras.ru

Научный консультант: К.Кугель e-mail: kugel@orc.ru

В подготовке выпуска принимали участие: А.Елецкий, В.Вьюрков, Ю.Метлин, Л.Опенев

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Ответственный за тираж: Ю.Мухин

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