

В этом выпуске:

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Квантовый компьютер решает классические задачи

Первоначально, по идее Фейнмана, квантовый компьютер предназначался для моделирования квантовых систем. Однако значительные деньги на его создание потекли только тогда, когда оказалось, что он способен эффективно решать некоторые классические задачи, неразрешимые с помощью классических компьютеров. Конечно, имеется в виду знаменитый алгоритм Шора, способный разрушить всю современную систему секретной коммуникации. Поиск других практически важных задач продолжается. Недавняя заметка в Nature Physics [1] обращает внимание на статью R.D.Somma et al. [2], в которой предлагается с помощью квантового компьютера решать широкий класс классических задач, связанных с релаксацией системы к минимуму энергии. Это может быть и поведение физической системы при постепенном понижении температуры. Оказывается, этот процесс можно описать с помощью уравнения Шредингера с мнимым временем. Многие задачи оптимизации, т.е. поиска минимума какой-то меры (например, денежных затрат), тоже решаются с помощью метода релаксации. Авторы считают, что для решения подобных задач особенно хорошо подходит адиабатический квантовый компьютер. В нем квантовая система в процессе эволюции с достаточно медленным изменением параметров все время находится очень близко к основному состоянию, которое и соответствует минимуму энергии системы. Изначально идея адиабатического компьютера предполагала значительное подавление процессов декогерентизации, поскольку ниже основного состояния система опуститься не может. Теперь открылось и другое возможное применение этого типа компьютеров.

В.Вьюрков

1. G.E. Santoro et al, Nature Physics 3, 593 (2007).
2. R.D. Somma et al, Phys. Rev. Lett. 99, 30603 (2007).

Лазер на одном атоме

Когда будет создан настоящий квантовый компьютер, пока никто не знает, но уже сейчас видно, что интенсивные исследования в этом направлении приводят к значительному прогрессу в понимании нашего физического мира и развитию нанoeлектроники в целом. Недавно группа исследователей из NEC Nano Electronics Research Laboratories, CREST-JST (Япония) и VVT Technical Research Center of Finland сообщила о создании лазера на искусственном атоме. Ранее эта команда, в которую входят наши соотечественники О.Астафьев и Ю.Пашкин, прославилась созданием первых сверхпроводниковых зарядовых кубитов. В новом предложении подобный кубит используется в качестве искусственного атома для лазерной генерации.

Кубит (островок – island) характеризуется двумя зарядовыми состояниями: с избыточной куперовской парой $|2\rangle$ и без нее $|0\rangle$.

И далее ...

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

- 2 Новая дисциплина - нанотоксикология
- 4 О чем плачут свечи?

Квантовые точки с датчиком заряда в нанопроводах Si/Ge

СВЕРХПРОВОДНИКИ

- 5 Фазовые флуктуации – барьер на пути к комнатнотемпературной сверхпроводимости?

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 7 Электроннолучевой монитор с катодом на основе углеродных нанотрубок

Полевая эмиссия с боковой поверхности углеродной нанотрубки

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

- 8 США не намерены уступать первенство в Нано

КОНФЕРЕЦИИ

- 10 XXXII Международная зимняя школа физиков-теоретиков «Коуровка», 25 февраля - 2 марта 2008 г., г. Новоуральск Свердловской области.

Куперовская пара поступает через джозефсоновский контакт с электрода земли (ground). Величина электростатической энергии на островке управляется потенциалом затвора (gate). Поскольку частота перехода $|0\rangle \rightarrow |2\rangle$ настроена в резонанс с расположенным рядом копланарным волноводом, избыток энергии высвобождается в виде фотона, а не каким-то другим образом. Чтобы создать инверсную заселенность необходимо эффективно откачивать куперовские пары с островка. С этой целью к нему через туннельный переход подключен контакт стока (drain). Напряжение на него подается такое, чтобы сначала один электрон смог туда протуннелировать после развала куперовской пары и система перешла в состояние $|1\rangle$ с одним избыточным электроном на островке, а затем и второй электрон - и система перешла в состояние $|0\rangle$. Лазерный режим генерации предполагает стимулированное излучение. Оно создается путем перекачки N куперовских пар на островок. При этом в резонаторе возникают N фотонов. Особенностью предлагаемой конструкции лазера является то, что используется всего один атом (правда, искусственный), а не множество, как в обычных лазерах.

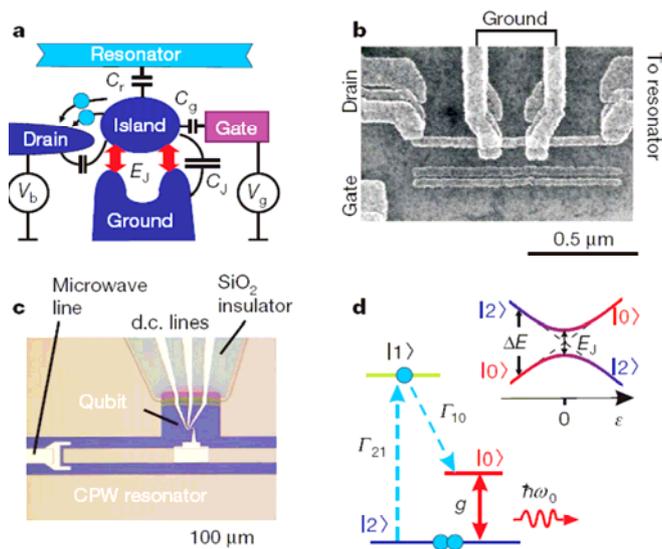


Схема структуры (а), вид кубита сверху в сканирующем электронном микроскопе (б), кубит, связанный с копланарным волноводом-резонатором (CPW) (с), зонная диаграмма и схема переходов в структуре (д).

В.Вьюрков

1. O. Astafiev et al, Nature 449, 588 (2007).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Новая дисциплина - нанотоксикология

Бурное развитие нанотехнологий несомненно приведет к тому, что в ближайшие годы наноматериалы войдут в нашу повседневную жизнь. И неудивительно, что все чаще стали обращать внимание на возможные эффекты их воздействия на живую природу. Как уже говорилось [1], результаты исследований токсичности углеродных наноматериалов до-

вольно противоречивы и вызывают много новых вопросов. Авторы единодушны, пожалуй, в одном - нужны дальнейшие исследования. При этом следует учитывать, что большинство экспериментов проводится в искусственных условиях, и уровни доз не обязательно отражают реальную картину.

Однако неправильно считать, что влияние наноматериалов на людей, животных и окружающую среду стали изучать лишь недавно. Существует довольно много данных старых биокинетических, а также более поздних эпидемиологических и токсикологических исследований, относящихся к ультрамалым частицам в воздухе. Авторы обзора [2] считают, что эти данные можно рассматривать в качестве базиса новой дисциплины – *нанотоксикологии*. *Нанотоксикология* может быть определена как «наука о созданных наноустройствах и наноструктурах, имеющая дело с их воздействием на живой организм» [2]. Оценка их безопасности должна иметь высший приоритет в условиях ожидаемого распространения по всему миру и вероятного воздействия на людей, непосредственно или через выделение в окружающую среду (воздух, воду, почву).

Как отмечают авторы [2], люди подвергались воздействию находящихся в воздухе наноразмерных частиц на всех стадиях эволюции. К примеру, такие частицы (включая фуллерены) образуются естественным путем в процессах сгорания - при лесных пожарах, в вулканах. С началом промышленной революции воздействие резко возросло из-за антропогенных источников (двигатели внутреннего сгорания, электростанции, плавка, сварка, термообработка полимеров и др.), а быстро развивающаяся область нанотехнологий, вероятно, скоро станет еще одним таким источником воздействия.

Синтезированные наноматериалы могут попасть в окружающую среду разными путями – при производстве, при обработке и перевозке, использовании, утилизации. Они входят в солнцезащитные кремы и косметические средства, которые постоянно смываются (вспомните рекламу обувного крема по ТВ - «Новый Киви – продукт нанотехнологий!»). Они используются в электронике, шинах, топливных элементах и многих других продуктах, и неизвестно, не будет ли утечки или износа в период использования. Наконец, они могут попасть в мусорные свалки с выбрасываемыми после употребления материалами и устройствами.

В основном наноматериалы (как естественного, так и искусственного происхождения) поступают в организм через дыхательные пути, но нельзя не учитывать и попадание в желудочно-кишечный тракт, а также воздействие через кожу. Специфические защитные механизмы входных порталов защищают организм млекопитающих от вредных веществ. Однако для наноматериалов эти защитные механизмы могут не всегда быть эффективными.

При вдыхании наночастицы благодаря диффузии эффективно распространяются во все отделы дыхательного тракта. Маленькие размеры облегчают поступление в клетки и перенос в систему кровообращения и лимфатическую систему, и наночастицы достигают таких потенциально чувствительных мишеней как костный мозг, лимфоузлы, селезенка и сердце. Не исключено их поглощение чувствительными нервными окончаниями в эпителии дыхательных путей и доступ к центральной нервной системе и нервным узлам, обусловленный перемещением вдоль отростков нейронов. Некоторые исследования указывают, что путь обонятельных нервов также следует рассматривать как портал входа в центральную нервную систему для человека в условиях окружающего и профессионального воздействия переносимых по воздуху наночастиц. Это подтверждается данными, полученными вирусологами, которые давно поняли движение вируса менингита человека через нейроны обонятельной системы и тройничного нерва. Авторы [2] выдвигают гипотезу, что наблюдаемые в некоторых эпидемиологических исследованиях сердечно-сосудистые эффекты, связанные с частицами в окружающей среде, отчасти обусловлены прямым воздействием перенесенных ультратонких частиц на вегетативную нервную систему через чувствительные нервы в дыхательном тракте. Некоторые данные подтверждают и предположение, что наночастицы в окружающем воздухе вызывают нейродегенеративные заболевания.

В желудочно-кишечный тракт наноматериалы могут попасть непосредственно (например, если они содержатся в пище или воде, или используются в косметике, или как лекарства, или устройства, доставляющие лекарственные препараты) или при выведении из дыхательных путей. Потенциально важный путь попадания наноматериалов в организм – через воздействие на кожу, особенно поврежденную. (Следует отметить, что по некоторым данным наночастицы могут проникать даже через неповрежденную кожу при ее изгибе – как при движениях запястья). Движение вируса герпеса вдоль чувствительных кожных нервов, инициирующее вспышки герпеса у людей, давно установлено. Чтобы определить, происходит ли и в какой степени такой перенос в случае наночастиц, нужны дальнейшие исследования.

Кроме того, биомедицинские применения для диагностики и лечения [1, 3] потребуют внутривенного, подкожного или внутримышечного введения. Следует иметь в виду, что уникальное биокинетическое поведение наночастиц, которое делает их такими привлекательными для применений в медицине для лечения или диагностики, может быть связано с потенциальной токсичностью. Для того, чтобы сделать созданные наноматериалы более биосовместимыми, применяют покрытие или ковалентную модифика-

цию поверхности, однако некоторые исследования показали, что как покрытия, так и ковалентная модификация могут подвергаться воздействию кислорода воздуха или УФ излучения [2]. Даже покрытия, используемые в доставке лекарств, могут не быть биостойкими, или может иметь место метаболизм, и наноматериал, находящийся внутри, подвергнется внешнему воздействию. Необходимо определить стабильность покрытий и ковалентной модификации поверхности и в экологическом окружении, и *in vivo*. Кроме того, доставка лекарств с помощью наночастиц в центральную нервную систему поднимает вопрос об их судьбе после перемещения к специфическим типам клеток или субклеточным структурам в мозге.

Рассматривая результаты немногочисленных экотоксикологических исследований, авторы [2] отмечают, что синтезированные наноматериалы, используемые как противомикробные препараты, могут сдвинуть баланс микробных сообществ, если они будут выводиться в окружающую среду. В общем случае наночастицы могут эффективно сорбироваться на осадках и частицах грунта и затем перемещаться по продуктовой цепочке.

Авторы [2] подчеркивают, что отсутствие токсикологических данных не должно привести к превентивной приостановке нанотехнологических исследований. Наоборот, следует бороться за трезвый баланс между дальнейшим развитием нанотехнологии и исследованиями, необходимыми для определения потенциальной опасности. Хотя токсикология конкретного материала может быть хорошо определенной, токсичность его наноразмерной формы может разительно отличаться. Очень важно, чтобы правительственные органы и промышленность ассигновали достаточные ресурсы для проведения научно обоснованной оценки риска. Разумно было бы рассмотреть проблемы окружающей среды и здравоохранения до широкого распространения нанотехнологий. Следует оценить как социальную пользу, так и возможные риски нанотехнологии и ясно донести информацию до населения и властей. Если не принять такие профилактические шаги, общество и власти могут отнестись к наноматериалам как к опасным, что может создать серьезные барьеры на пути коммерциализации и широкого распространения полезных в других отношениях продуктов нанотехнологии [2].

В какой степени наночастица вещества увеличила проникновение через кожу или повысила поглощение через легкие или желудочно-кишечный тракт? Что определяет, сколько наночастиц, попавших в системы циркуляции, будет распределено по всему телу, достигнет костного мозга, пройдет барьер кровь – мозг, пройдет плаценту и повлияет на развивающихся потомков или эффективно изолируется в печени? Влияют ли наночастицы, попавшие в окружающую среду, на элементы, важные в дина-

мике продуктовой цепочки? Каковы отдаленные последствия воздействия наноматериалов? В настоящее время мало данных для исчерпывающих ответов на эти вопросы.

Многообразие искусственно созданных материалов и возникающих эффектов – главные проблемы и необходимые исследования для нанотоксикологии. Цель – использовать положительные аспекты синтезированных наноматериалов и избежать возможных токсичных эффектов – лучше всего может быть достигнута с помощью деятельности междисциплинарной команды, включающей исследователей в области токсикологии, физики, химии, материаловедения, медицины, молекулярной биологии, биоинформатики и более узких специалистов в этих областях.

О.Алексеева

1. *ПерсТ 13, вып. 14, с. 7 (2006); 13, вып. 20, с. 8 (2006).*
2. *G. Oberdörster et al. Environmental Health Perspectives 113, 823-839 (2005).*
3. *ПерсТ 13, вып. 20, с. 5 (2006).*

О чем плачут свечи?

Известно, что побочным продуктом синтеза углеродных нанотрубок в дуговом разряде являются углеродные наночастицы (УНЧ), обладающие рядом важных для практических приложений характеристик (в частности, люминесценцию УНЧ предполагается использовать в биосенсорах). Сотрудники Purdue University (США) предложили гораздо более простой и надежный способ получения УНЧ [1]. Они обнаружили, что УНЧ в больших количествах образуются при сгорании обычной свечи. Если над пламенем свечи поместить алюминиевую фольгу или стеклянную пластинку, то на ней оседает сажа, содержащая крупные (с размерами несколько микрон) агломераты УНЧ, которые после окисления азотной или уксусной кислотой распадаются на отдельные УНЧ со средним размером около одного нанометра. Эти УНЧ хорошо растворяются в воде, этаноле и некоторых других растворителях. Содержание кислорода в них выше, чем в исходной саже до ее окисления, что, как показано в [1], является необходимым условием люминесценции УНЧ. Спектры люминесценции зависят от *pH* раствора. В дальнейшем для улучшения оптических характеристик УНЧ планируется покрывать их поверхность гидрофильными молекулами, такими как полиэтиленгликоль [2]. И, конечно, прежде чем использовать такие УНЧ в медицине, нужно будет детально изучить их на предмет токсичности.

Таким образом, свечи способны не только создавать романтическую атмосферу на праздничном ужине, но и быть поставщиками нанопродуктов. Здесь нелишне напомнить, что в саже от свечи присутствуют не только УНЧ, но и такие уникаль-

ные нанобъекты как сферообразные кластеры углерода – фуллерены [3]. Выходит так, что люди, сами того не осознавая, занимаются наносинтезом на протяжении уже многих веков. Может быть, в свечной саже есть и еще что-нибудь такое, чего мы пока просто не видим?

Л.Опенев

1. *H.Liu et al., Angew. Chem. Int. Edn. 46, 6473 (2007).*
2. *M.Bottini, T.Mustelin, Nature Nanotechnol. 2, 599 (2007).*
3. *J.B.Howard et al., Nature 352, 139 (1991).*

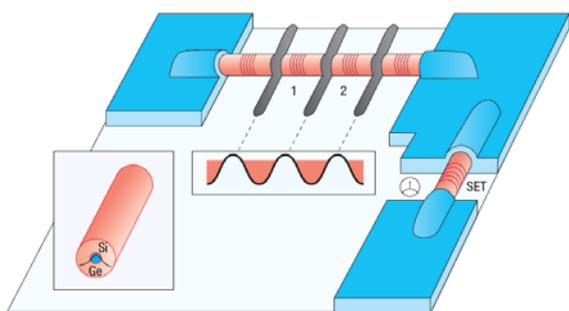
Квантовые точки с датчиком заряда в нанопроводах Si/Ge

При конструировании устройств для операций с кубитами одна из главных задач состоит в том, чтобы минимизировать неконтролируемые взаимодействия кубитов с внешним окружением. Если логические состояния кубитов кодируются в спиновые состояния электронов, занимающих размерно-квантованные уровни энергии в квантовых точках [1] из полупроводников III и V группы (например, GaAs), основным источником декогерентизации является сверхтонкое взаимодействие спинов электронов с ядерными спинами [2,3]. В полупроводниках IV группы, таких как Ge и Si, изотопы с ненулевым спином ядра присутствуют в мизерных количествах, поэтому квантовые точки на основе Si/Ge считаются гораздо более подходящими кандидатами в носители спиновых кубитов. Недавно были изготовлены качественные нанопровода Si/Ge с германиевым сердечником и кремниевой оболочкой [4]. Носителями заряда в них являются дырки с длиной свободного пробега несколько сотен нанометров. Сравнительно большой (≈ 0.5 эВ) разрыв валентных зон Si и Ge приводит к тому, что дырки скапливаются в сердечнике нанопровода. Для формирования в таких нанопроводах квантовых точек можно использовать металлические электроды, электростатические потенциалы которых ограничивают движение дырок в продольном направлении. Высота энергетического барьера между соседними квантовыми точками при этом регулируется с помощью дополнительных электродов, что позволяет контролировать туннелирование дырок из точки в точку.

Американские нанотехнологи из Harvard University под руководством С. Marcus'a не только изготовили пару таких квантовых точек Si/Ge, но и продемонстрировали возможность измерения их зарядового состояния [5], что необходимо для контроля спиновых кубитов [1] (ведь каждый электрон несет на себе не только спин, но и заряд). Роль датчика заряда в работе [5] играла третья квантовая точка, расположенная в другом нанопроводе Si/Ge и соединенная с первыми двумя посредством емкостной связи (см. рис.). Она выполняла функцию одноэлектронного транзистора. Проводимость через

ПерсТ, 2007, том 14, выпуск 19

нее оказалась так чувствительна к зарядовым состояниям пары туннельно-связанных квантовых точек, что авторам [5] удалось зарегистрировать не только процессы изменения числа дырок в этой паре (как целом) на единицу, но и отдельные акты туннелирования дырок из одной точки в другую (соответствующие изменения поляризации пары квантовых точек очень трудно обнаружить, если непосредственно измерять ее проводимость [6]). Тут остается только добавить, что температура всей системы во время измерений поддерживалась равной ≈ 150 мК.



Схематическое изображение пары туннельно-связанных квантовых точек (1 и 2) в нанопроводе Si/Ge и третьей точки (SET), расположенной в другом нанопроводе Si/Ge и выполняющей функцию одноэлектронного транзистора, который регистрирует изменение зарядовых состояний точек 1 и 2. Левая вставка: геометрия нанопровода Si/Ge. Правая вставка: профиль потенциала, создаваемого для дырок вдоль оси нанопровода тремя металлическими электродами.

Следующим шагом должна стать разработка методики измерения спиновых состояний квантовых точек. Это задача гораздо более сложная, поскольку спины взаимодействуют с окружением значительно слабее, чем заряды. Но если использовать так называемые процессы "преобразования спина в заряд" (spin-to-charge conversion [2]), то опробованный в [5] датчик заряда может пригодиться и здесь. Но сначала нужно научиться уменьшать число дырок в каждой квантовой точке от сотен до единиц...

1. D.Loss, D.P.DiVincenzo, *Phys. Rev. A* **57**, 120 (1998).
2. J.R.Petta et al, *Science* **309**, 2180 (2005).
3. F.H.L.Koppens et al., *Nature* **442**, 766 (2006).
4. W.Lu et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **102**, 10046 (2005).
5. Y.Hu et al., *Nature Nanotechnol.* **2**, 622 (2007).
6. L.DiCarlo et al., *Phys. Rev. Lett.* **92**, 226801 (2004).

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Фазовые флуктуации – барьер на пути к комнатнотемпературной сверхпроводимости?

Параметр сверхпроводящего порядка $\Psi = |\Psi|e^{i\theta}$ является комплексной величиной. Его модуль $|\Psi|$ связан с энергетической щелью в спектре возбуждений, наличие которой приводит к активационному виду

зависимостей термодинамических величин (например, теплоемкости) от температуры, а также к невозможности поглощения сверхпроводником электромагнитного излучения с энергией квантов меньше, чем эта щель. В свою очередь, фаза θ , имеющая одинаковое значение во всех точках образца, отвечает за бездиссипативное протекание по сверхпроводнику электрического тока ($R=0$). В обычных низкотемпературных сверхпроводниках (например, свинце или ниобии) переход из сверхпроводящего состояния в нормальное при $T = T_c$ происходит, когда $|\Psi|$ обращается в нуль. В отсутствие амплитуды теряет смысл и фаза. В недодопированных ВТСП характер этого перехода до сих пор не выяснен, в первую очередь из-за того, что за 20 лет мы так и не поняли, что представляет собой нормальное состояние ВТСП. Сейчас преобладает мнение, что в нем (по крайней мере, при температурах не намного выше T_c) величина $|\Psi|$ отлична от нуля, а фаза θ флуктуирует от точки к точке, (рис.1), то есть это состояние "не совсем нормальное".

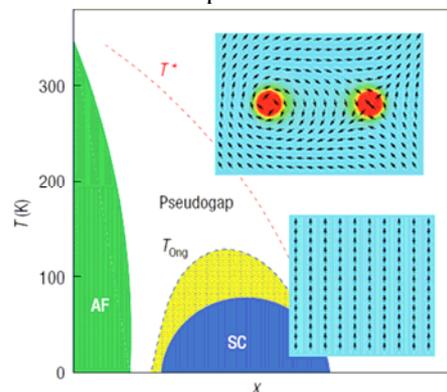


Рис.1. Фазовая диаграмма ВТСП в координатах температура – концентрация дырок x в слоях CuO_2 (в расчете на атом меди). AF – антиферромагнитный диэлектрик, SC – сверхпроводник. T_{Ong} – температура, ниже которой существование фазовых флуктуаций экспериментально доказано. T^* – температура появления псевдощели. Вставки иллюстрируют возможные "конфигурации" фазы параметра порядка: упорядоченную в сверхпроводящем состоянии (внизу) и разупорядоченную, содержащую пары вихрь-антивихрь в псевдощелевом состоянии (вверху).

В таком "псевдощелевом" состоянии имеется энергетическая щель (связанная, возможно, именно с отличием $|\Psi|$ от нуля), но $R \neq 0$. Хотя эта точка зрения и подтверждается некоторыми экспериментами [1,2], не все с ней согласны. Поскольку отсутствует экспериментальное подтверждение универсального скачка сверхтекучей плотности $n_s(T)$, который должен иметь место при разупорядочении фазы в двумерных сверхпроводниках, где, согласно теории, переход в нормальное состояние является переходом Костерлица-Таулеса (КТ) и происходит из-за разрыва пар вихрь-антивихрь. Сторонники фазовых флуктуаций, в свою очередь, замечают, что, во-первых, в реальных сверхпроводниках резкий КТ-переход размывается атомным беспорядком, а во-вторых, взаимодействие между

слоями CuO_2 в ВТСП не настолько уж слабое, чтобы можно было говорить о двумерной сверхпроводимости этих слоев.

Сотрудники Ohio State University (США) решили "проблему чистоты" тонких пленок ВТСП $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ следующим образом [3]. Поскольку атомный беспорядок в недодопированных (но еще сверхпроводящих) образцах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ с $\delta \approx 0.5$ появляется главным образом из-за неоднородности распределения кислорода по цепочкам $\text{CuO}_{1-\delta}$, они вообще убрали кислород из цепочек (так что $\delta \approx 1$). Но при удалении кислорода из цепочек $\text{CuO}_{1-\delta}$ в слоях CuO_2 совсем не остается подвижных дырок, вследствие чего исчезает и сверхпроводимость. Чтобы компенсировать потерю дырок, авторы [3] заменили часть (20 ÷ 30 %) ионов Y^{3+} ионами Ca^{2+} . Таким образом, были изготовлены очень качественные пленки $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ толщиной от 2 до 40 элементарных ячеек по оси c (один период $c = 1.17$ нм) и T_c от 2 до 52 К. Сверхтекучую плотность n_s в [3] определяли путем измерения комплексной проводимости $\sigma_1 + i\sigma_2$ при $\omega = 50$ кГц. При этом $n_s \sim \lambda^{-2} \sim \sigma_2$, где λ – глубина проникновения магнитного поля. На рис.2 приведены температурные зависимости λ^{-2} (то есть фактически n_s), полученные в [3] для пленок с различными T_c . Резкого скачка $n_s(T)$ при $T=T_c$, предсказываемого теорией КТ [4], не наблюдалось ни в одной пленке. Но здесь нужно принять во внимание следующие два обстоятельства. Во-первых, теоретически такой скачок, с бесконечной производной $dn_s(T)/dT$ при $T=T_c$, имеет место только в том случае, если измерять σ_2 при $\omega \rightarrow 0$. Во-вторых, теория [4] не учитывает эффекты пиннинга магнитных вихрей, наличие границ зерен, присутствие остаточного атомного беспорядка и ряд других факторов, которые приводят к размытию неаналитической особенности $n_s(T)$ при $T=T_c$. Поэтому авторы [3] полагают, что достаточно сильная крутизна кривых $n_s(T)$ является очевидным признаком того скачка n_s , который имел бы место в "идеальном" случае. При этом зависимость $\lambda^{-2}(T_c)$ отлично согласуется с теоретической (штриховая прямая линия на рис.2). Более того, в [3] показано, как изменяется зависимость T_c от $\lambda^{-2}(0)$ с ростом толщины пленки (рис.3), что связано с переходом от двумерной сверхпроводимости к трехмерной – опять же в полном соответствии с теорией.

В свете этих новых результатов противникам теории "фазоразупорядоченного" нормального состояния ВТСП теперь будет очень трудно отстаивать свою позицию. Но открытым остается один очень интересный и важный вопрос: до какой температуры сохраняется такое состояние? Эксперимент [1,2] говорит, что до так называемой "температуры Ong'a", $T_{\text{Ong}} \approx 140$ К – точно сохраняется (рис.1). Но может статься, что T_{Ong} – это всего лишь температура, выше которой чувстви-

тельность современной аппаратуры не позволяет зарегистрировать фазовые флуктуации, а они на самом деле выживают вплоть до гораздо более высокой температуры возникновения псевдощели T^* .

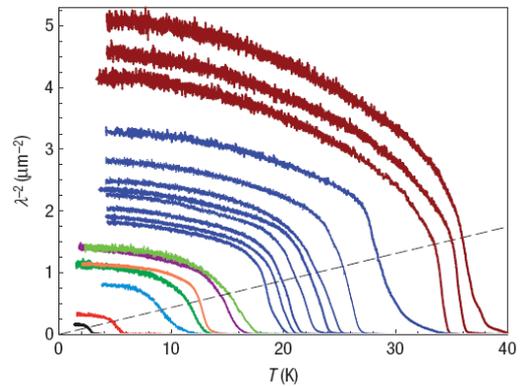


Рис.2. Температурные зависимости квадрата обратной глубины проникновения магнитного поля λ (пропорционального сверхтекучей плотности n_s) в пленках $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ толщиной в две элементарные ячейки по оси c . Три верхние коричневые кривые – для одной и той же пленки: непосредственно после изготовления ($\delta \approx 0$; максимальная T_c) и после выдержки в течение различного времени при комнатной температуре (что приводит к уменьшению содержания кислорода и соответствующему понижению T_c). Восемь синих кривых – для другой пленки, опять же с различным содержанием кислорода. Остальные кривые – для пленок с разным содержанием Ca и $\delta \approx 1$. Штриховая линия – теоретическая зависимость $\lambda^{-2}(T_c)$ [4].

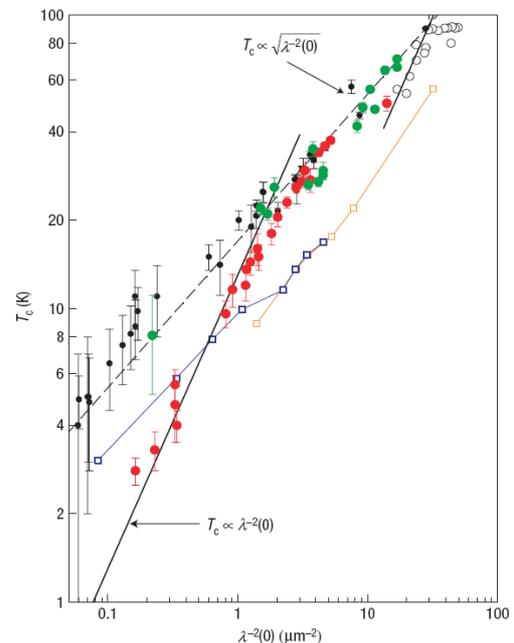


Рис.3. Зависимость T_c от $\lambda^{-2}(0)$ в ВТСП. Красные и зеленые закрашенные кружки – данные работы [3] для пленок $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ толщиной 2 и 40 элементарных ячеек, соответственно. Пустые черные кружки, пустые оранжевые квадраты, пустые синие квадраты и черные закрашенные кружки – данные других авторов для порошков, монокристаллов и пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Сплошная и штриховая линии – теоретические зависимости для, соответственно, двумерных и трехмерных сверхпроводников с квантовой критической точкой.

Если это действительно так, то можно пофантазировать и предложить простой способ превращения высокотемпературных сверхпроводников в комнатно-температурные: для этого нужно "всего лишь" подавить каким-то образом флуктуации фазы.

Л.Опенев

1. Z.A.Xu et al., *Nature* **406**, 486 (2000).
2. Y.Wang et al., *Phys. Rev. Lett.* **95**, 247002 (2005).
3. I.Hetel et al., *Nature Physics* **3**, 700 (2007).
4. D.R.Nelson, J.M.Kosterlitz, *Phys. Rev. Lett.* **39**, 1201 (1977).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Электроннолучевой монитор с катодом на основе углеродных нанотрубок

Известно, что углеродные нанотрубки (УНТ) являются эффективными источниками холодной полевой эмиссии электронов. В настоящее время во многих лабораториях мира ведутся разработки мониторов с катодами на основе УНТ, основной отличительной особенностью которых является относительно низкое напряжение питания (на уровне 1 кВ) при относительно высокой плотности тока эмиссии. Подобные мониторы способны составить конкуренцию традиционным кинескопам с термоэмиссионными катодами, а также жидкокристаллическим дисплеям. Наряду с катодом, важным элементом монитора является люминесцентный экран, свойства которого определяют качество получаемого изображения. В связи с этим возникает проблема сопряжения катода на основе УНТ с люминесцентным экраном, которая включает в себя выбор материала люминофора и оптимизацию режима эмиссии в соответствии со свойствами этого материала. Последовательный подход к решению этой проблемы был продемонстрирован недавно исследователями из Univ. of Idaho (США), которые разработали монитор с катодом на основе УНТ и люминесцентным экраном на основе ZnO. Устройство монитора показано схематически (рис. 1).

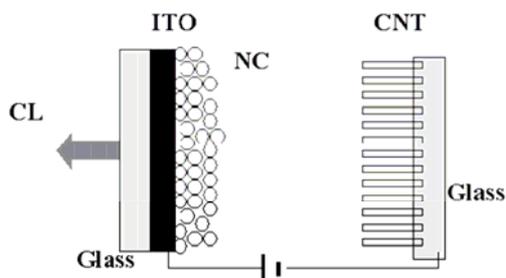


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая устройство монитора с катодом на основе УНТ и люминесцентным экраном на основе ZnO.

Нанокластеры ZnO размером до 10 нм, синтезированные окислением цинка с последующей сублимацией при давлении 1 Торр, нанесли на прозрачную проводящую пленку окиси индия-олова (ITO), покрывающую стеклянную подложку площадью 1 см² и толщиной 4 мкм. Межэлектродное

расстояние зависело от величины прикладываемого напряжения и обычно составляло 0.6 мм. При напряжении на аноде 1.7 кВ ток эмиссии составлял 10 мА, что соответствует мощности электронного пучка 17 Вт; при напряжении 1.8 кВ ток составлял 20 мА при мощности 36 Вт. На рис. 2 показан спектр катодолюминесценции люминофора, измеренный при двух указанных выше величинах тока электронной эмиссии. Спектр содержит пики излучения, находящиеся в видимой и ближней УФ области, соответственно. Как видно, ширина пика излучения, соответствующего видимой области спектра, значительно превышает ширину УФ полосы, так что основная мощность излучается в видимой области.

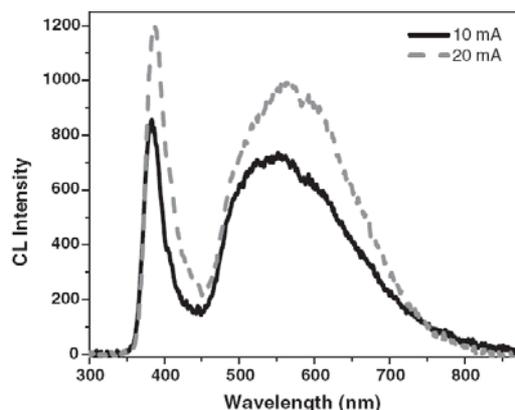


Рис. 2. Спектр катодолюминесценции люминофора, измеренный при двух величинах тока электронной эмиссии

А.В.Елецкий

1. J. Antony, Y. Qiang, *Nanotechnology* **18**, 295703 (2007).

Полевая эмиссия с боковой поверхности углеродной нанотрубки

Эффективность эмиссии электронов с углеродных нанотрубок (УНТ) обусловлена их высокой проводимостью и большим отношением длины к поперечным размерам, способствующим усилению электрического поля вблизи конца нанотрубки. При этом считается, что именно эта область является основным источником электронной эмиссии. Однако, в большинстве случаев, нанотрубки, составляющие полевой эмиссионный катод, не ориентированы строго вертикально по отношению к подложке и могут быть как угодно изогнуты. В связи с этим возникает вопрос об эмиссионной способности боковой поверхности нанотрубки. Прямые эксперименты, позволяющие получить ответ на этот вопрос, были поставлены недавно в Univ. of Central Florida, Orlando (США). Многослойные УНТ диаметром около 40 нм и длиной порядка 10 мкм, синтезированные методом химического осаждения паров и укрепленные по отдельности на торце углеродного волокна, облучали ионным пучком при токе от нескольких до 500 пА, что приводило к их изгибу и образованию петель. Радиус петли зависел от величины ионного тока и составлял несколько сот нанометров.

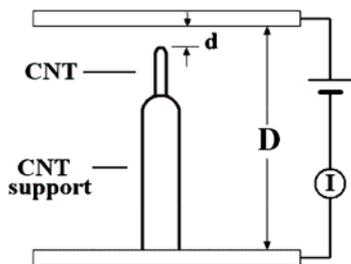


Рис. 1. Схема эксперимента по измерению эмиссионных характеристик боковой поверхности нанотрубки

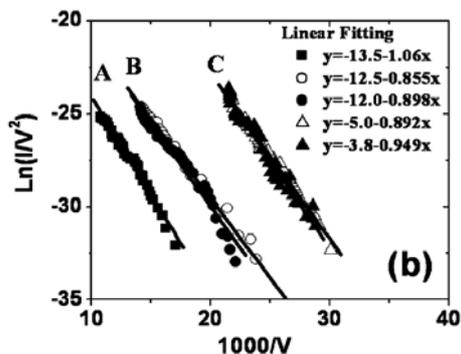


Рис.2. Эмиссионные характеристики боковой поверхности индивидуальной нанотрубки, представленные в координатах Фаулера-Нордгейма.

Схема эксперимента по измерению эмиссионных характеристик УНТ представлена на рис. 1. В этом эксперименте межэлектродное расстояние составляло $D = 5\text{ мм}$, а расстояние от нанотрубки до анода $d = 150 \pm 2\text{ мкм}$. Во избежание термического разрушения эмиттера измерения проводили при относительно невысоких токах (не выше 100 нА). Стабильное и воспроизводимое поведение эмиттера (кривая B) наблюдалось после некоторой тренировки исходного (кривая A) образца. Обращает на себя внимание аномально низкое напряжение (50 В), при котором начинается эмиссия, а также напряжение (70 В), при котором ток эмиссии достигает величины 100 нА. Тренировка эмиттера в течение 2 мин при повышенном напряжении, обеспечивающем ток до 5 мкА, изменяет эмиссионные характеристики нанотрубки (кривая C), так что эмиссионный ток при том же напряжении возрастает на 2-3 порядка. Наблюдения, выполненные с помощью электронного микроскопа, показывают, что эффект тренировки связан с частичным испарением материала нанотрубки при высоких токах и выпрямлении нанотрубки под действием электрического поля. Коэффициент усиления электрического поля, полученный на основании обработки вольт-амперных характеристик УНТ, оказался в диапазоне 380000-400000. Предполагается, что столь высокая величина эффективного фактора полевого усиления связана с возможным снижением работы выхода нанотрубки в результате ее изгиба.

А.В.Елецкий

1. G. Chai, L. Chow Carbon 45, 281 (2007).

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

США не намерены уступить первенство в Нано

Мировая нанопанэпидемия была инициирована американской программой «Национальная нанотехнологическая инициатива» (National Nanotechnology Initiative - NNI) США с общим объемом инвестиций на сегодняшний день около 8 млрд. долл. У ее истоков стоял д-р Mike Roco, теперь старший консультант по вопросам нанотехнологий Национального научного фонда США, автор 13 открытий и многочисленных публикаций и монографий [1]. NNI – межведомственная программа правительства США, запущенная в 2001 г. для ускорения открытий, разработок и развертывания нанонауки, нанотехнологии и нанотехники и сохранения американского приоритета в этой области. NNI – координирующая программа, направляющая нанотехнологическую активность 26 федеральных агентств, 13 из которых получают бюджетное финансирование для нанотехнологических исследований и разработок в 2008 г. [2] Текущий стратегический план NNI включает 4 цели:

- поддержка фундаментальных исследований мирового уровня, способных ускорить реализацию полного потенциала нанотехнологий;
- содействие преобразованию новых технологий в продукцию, ускоряющую экономический рост;
- содействие появлению новых рабочих мест и других выгод для общества;
- разработка новых образовательных ресурсов и поддержка развития инфраструктуры для развития нанотехнологий;
- осознание ответственности за развитие нанотехнологии, безопасной для здоровья людей и экологии. Осуществляя эти цели, агентства, включенные в выполнение программы NNI:
- финансировали тысячи индивидуальных проектов, способствующих сохранению мирового лидерства американской науки, в частности, по цитированию публикаций в ведущих научных журналах;
- вложили в период 2004-2006 г.г. почти 200 млн. долл. в поддержку малого бизнеса в nanoисследованиях и разработках;
- организовали 16 семинаров по вопросам передачи результатов научных исследований в промышленность;
- организовали 2 семинара по координации федеральных и региональных усилий в области нанотехнологий;
- способствовали сотрудничеству между всеми включенными в программу агентствами, формулируя общие стратегии по коммерциализации нанотехнологий без нанесения ущерба здоровью людей и экологии (в период 2005-2007 г.г. инвестировали 120 млн. долл. в изучение потенциальных рисков, связанных с нанотехнологиями);

- организовали сеть центров, осуществляющих взаимодействие между исследователями и производителями по всей стране.

В 2008 г. для целей *NNI* заявлен бюджет в размере 1.44 млрд. долл., что более чем в 3 раза превосходит расходы стартового 2001 года (464 млн. долл.) и на 13% выше бюджета 2007 г. Значительная сумма уже вложенных бюджетных инвестиций в программу *NNI* - 8.3 млрд. долл. - указывает на несомненную поддержку нанотехнологических исследований и разработок со стороны правительства и конгресса США. Наиболее активные агентства – Национальный научный фонд, Министерство обороны, Министерство энергетики, Национальный институт здоровья, Национальный институт стандартов и технологий.

Министерство обороны (*DoD*) заинтересовано в наноразработках в области систем защиты от химического и биологического оружия; в новых качественных материалах для различных вооружений; новых компьютерных и телекоммуникационных технологиях; сверхминиатюрных средствах передвижения и миниатюрных спутниках.

Министерство энергетики (*DoE*) заинтересовано в продвижении водородной энергетики, в частности в производстве наноматериалов для систем хранения водорода.

Министерство транспорта (*DoT*) заинтересовано в продвижении технологии прочных конструкционных наноматериалов, в технологиях производства битумов и цементов (!) с использованием наночастиц.

Агентство по защите окружающей среды (*EPA*) инвестирует исследования воздействия наномасштабных материалов, попадающих в окружающую среду, на здоровье человека и экосистему.

Национальное аэрокосмическое агентство (*NASA*) финансирует разработки новых прочных и легких материалов, а также приборов и сенсоров, потребляющих малые мощности и работающих с высокой надежностью в условиях космоса при высоком уровне радиации.

Цель Национального института здоровья (*NIH*) – создание улучшенных диагностических и терапевтических подходов и приборов, а также исследование фундаментальных биомедицинских механизмов.

Национальный институт стандартов и технологий (*NIST*) фокусируется на разработке стандартных образцов материалов для нанотехнологий, а также занимается исследованием новых запоминающих устройств высокой емкости на основе магнитных доменов, изучением новых эффектов в магнитных нанопроволоках.

Национальный научный фонд (*NSF*) увеличивает поддержку исследований квантовых явлений в наномасштабных приборах, наноструктур и наносистем, разработку процессов самосборки, а также разработку нанотехнологий для фильтрации воды и преобразований энергии.

В рамках *NNI* инвестирование проводятся по 7 категориям исследований и разработок. В таблице – перечень категорий исследований и планируемые суммы инвестиций в каждой из категорий в бюджете 2008 г.

Планируемый бюджет *NNI* на 2008 г.

	Категория исследований	Бюджет, 2008г., млн. долл.
1.	Фундаментальные исследования эффектов и процессов на наноуровне	491.8
2.	Наноматериалы	290.7
3.	Наноприборы и системы	277.4
4.	Исследовательская аппаратура, метрология и стандарты в области нанотехнологий	83.6
5.	Промышленное производство с использованием нанотехнологий	44
6.	Создание исследовательских и производственных центров и приобретение соответствующего оборудования	159.8
7.	Изучение влияния нанотехнологий на развитие общества	97.5

По оценкам консалтинговой компании Lux Research к 2014 г. объем рынка товаров, в которых будет использоваться нанотехнология, достигнет 2.6 трлн. долл., что составит 15% от общего объема мирового рынка товаров. Но уже и сегодня...

На сайте “Emerging Nanotechnologies” представлен постоянно пополняемый перечень из более 500 современных товаров, в производстве которых используются нанотехнологии [3]. С этим перечнем можно ознакомиться в открытом доступе. Среди последних добавлений – 16 Гб флэш-память ком-

пании Samsung, изготовленная по 51нм технологии (в массовом производстве); процессор Athlon компании AMD, использующий транзисторы с 50нм затвором. Основное наполнение перечня – это множество косметических кремов; лекарств; фильтров для воды и воздуха; тканей с антибактерицидным нанопокрытием. 25 октября с.г. компания Intel заявила о начале массового выпуска процессоров по 45нм технологии (первые такие процессоры Intel изготовила в январе с.г.) [4].

1. www.nanotechproject.org

2. http://www.nano.gov/NNI_08Budget.pdf
3. <http://www.nanotechproject.org/consumerproducts>
4. <http://www.eetimes.com/news/latest/showArticle.jhtml;jsessionid=D0FX4RJK2QHFQSNLSCKHA?articleID=202601491>

КОНФЕРЕЦИИ

XXXII Международная зимняя школа физиков-теоретиков «Коуровка», 25 февраля - 2 марта 2008 г., г. Новоуральск Свердловской области

Программа школы

- сильно коррелированные системы;
- фазовые переходы и критические явления;
- нелинейные явления и нестабильности;
- электронные свойства низкоразмерных систем.

Пленарные заседания будут отведены под обзорные лекции ведущих специалистов по тематике школы. Кроме того, планируется работа по секциям, включая стендовые, на которых участники школы смогут выступить с оригинальными сообщениями.

Основные даты

20 ноября 2007 г. - последний срок подачи заявок и окончание регистрации.

1 декабря 2007 г. - последний срок подачи тезисов доклада.

Контакт:

Умергалина Ольга Валерьевна

Тел.: (343)378-37-58),

Ляпилин Игорь Иванович

Тел.: (343)378-37-30

Факс (343)374-52-44

E-mail: kourovka@imp.uran.ru

Web: <http://www.imp.uran.ru/kourovka/>

Семинар по магнетизму.

6 ноября 2007 г. (вторник), 17.00.

Институт физических проблем им. П.Л.Капицы.

К.И. Кугель (ИТПЭ РАН)

"Зарядовые и магнитные неоднородности в системах с носителями тока различных типов"

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

Научный редактор К.Кугель

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

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

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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