Информационный бюллетень

перспективные технологии

наноструктуры сверхпроводники фуллерены

### http://perst.isssph.kiae.ru

Том 13, выпуск 7

В этом выпуске:

#### НАНОСТУКТУРЫ

# Кремний для электроники: придут ли нанопровода на смену кристаллам?

Непрерывный прогресс в характеристиках различных электронных устройств – от персональных компьютеров до мобильных телефонов – в значительной степени обусловлен постоянным уменьшением размеров кремниевых микросхем. Для их серийного производства хорошо отлажена 0.1-микронная технология. Но дальнейшая миниатюризация электронных компонентов до масштаба ≈ 10нм требует замены кристаллов кремния другими физическими объектами. В качестве таковых сейчас обсуждаются, например, углеродные нанотрубки, молекулярные переключатели и кремниевые нанопровода. О последних и пойдет речь ниже.

Методика выращивания кремниевых нанопроводов заключается в следующем. На подложку из кремния наносят маленькую каплю жидкого металла (как правило, золота). Эта капля так эффективно адсорбирует Si из паров  $SiH_4$  или  $Si_2H_6$ , что становится пересыщенной кремнием, в результате чего из капли растет длинный и круглый монокристаллический нанопровод Si, диаметр которого определяется размерами капли Au (см. рисунок). До сих пор считали, что если на подложку нанести сразу несколько капель Au, то одновременно получится соответствующее количество нанопроводов Si. Поэтому данная методика рассматривалась как весьма перспективная для широкомасштабного изготовления таких нанопроводов с целью их практического использования в наноэлектронике. Однако проведенные в *IBM* исследования показали, что это не так [1].





Рис.1 (из статьи [3]). Иллюстрация роста нанопроводов *Si* с использованием капель *Au* в качестве катализаторов.

В работе [1] процесс роста параллельных друг другу нанопроводов Si на подложке из Si (111) изучен с использованием сканирующего туннельного микроскопа. Вопреки ожиданиям, авторам [1] не удалось вырастить сразу много длинных однородных по диаметру нанопроводов. Причина этого заключается в том, что неизбежные, пусть даже и совсем незначительные различия в размерах капель Аи приводят в конечном итоге к тому, что атомы Аи диффундируют с

15 апреля 2006 г.

И далее ...

- 2 Секреты ПЖК-роста *Si* нанопроволок
- 3 Наномагнетизм в *Ge* нанопроволоках

#### СВЕРХПРОВОДНИКИ

4 Магнетизм, сверхпроводимость и квантовые критические точки

#### ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 4 Электрический переключатель на основе углеродных нанотрубок
- 5 Самовосстанавливающийся полевой эмиссионный катод на основе углеродных нановолокон

#### КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

**6** Квантовые вычисления и риманова геометрия

#### НИТРИДНЫЕ НОВОСТИ

6 Как снизить дефектность эпитаксиальных слоев *GaP:N*?

#### НОВОСТИ ФИЗИКИ В БАНКЕ ПРЕПРИНТОВ

7 Сверхпроводящие флуктуации и псевдощель

Сверхпроводящий конденсат на нанометровом масштабе

Критическая температура и концентрация дырок в ВТСП

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

7 Национальный центр нанонауки и технологии США меньших капель на большие, в результате чего рост оставшихся без "золотой крыши" нанопроводов прекращается (см. рисунок). Этот эффект, называемый эффектом Оствальда (лауреат Нобелевской премии по химии в 1909 году) или – в шутку – "капиталистическим принципом", объясняется уменьшением полной поверхностной энергии при диффузии *Au* с капли на каплю [2]. В [1] наблюдали и другие вредные последствия диффузии *Au*, в том числе изменение диаметра каждого нанопровода вдоль его длины.

Выход из этой ситуации предложен в работе [3]: не нужно гнаться за идеальными условиями синтеза (сверхвысокий вакуум и т.д.), как это делали авторы [1], а просто допустить присутствие в атмосфере незначительного количества кислорода. Это позволит блокировать пути диффузии Au, которая, как установлено в [1], происходит по поверхности подложки. Тогда капли Au окажутся независимыми друг от друга, и получится большой массив длинных однородных нанопроводов *Si*. Таким образом, оказывается, что "очень чисто" – это иногда даже "чересчур чисто"...

Л.Опенов

- 1. J.B.Hannon et al., Nature 2006, 440, 69
- 2. W.Ostwald, Z. Phys. Chem 1900, 34, 495
- 3. U.Gosele, Nature 2006, 440, 34

Далее неожиданные результаты этой работы сотрудников *IBM* комментирует и наш корреспондент, основная работа которого связана с технологией.

### Секреты ПЖК-роста кремниевых нанопроволок

Синтез полупроводниковых нанопроволок по механизму пар-жидкость-кристалл (ПЖК) является одним из основных способов получения монокристаллических нановолосков, которые затем используются для построения различных устройств в рамках технологического направления «снизу-вверх» ("bottom-up"). В подавляющем большинстве работ процессы роста нанопроволок и исследования синтезированного продукта разнесены в пространстве и времени, что существенно ограничивает возможность получения надёжной количественной информации о ПЖК механизме, а некоторые важные детали могут вообще остаться незамеченными. Поэтому исключительный интерес представляют методики, позволяющие вести наблюдение за формированием нанопроволок непосредственно в процессе их роста (in-situ). Именно такой подход был реализован в недавних работах группы учёных из исследовательского центра IBM (Yorktown Heights) [1, 2]. Изучали классическую систему Si-Au, а выращивание нанопроволок производили в сверхвысоковакуумном просвечивающем электронном микроскопе (Hitachi UHV H-9000), либо в камере микроскопа на медленных электронах (*LEEM*) путём экспозиции подложки *Si*(111) с двумя монослоями золота в смеси дисилан (20%)-гелий (80%) при давлении 5х10<sup>-4</sup>Торр и температуре 600°С.

Наблюдения в LEEM показали, что нагрев плёнки Аи до 600°С приводит к образованию ансамбля разноразмерных нанокапель, а поверхность между каплями обладает сверхструктурой, характерной для грани Si(111) с одним монослоем золота. Оказалось далее, что при данной температуре атомы Аи быстро мигрируют по такой поверхности из малых капель в более крупные и этот процесс (так называемое «оствальдовское созревание») происходит за 2-3 минуты. Аналогичную сверхструктуру наблюдали и на поверхности подложки между растущими нанопроволоками. Поэтому резонно предположить, что и боковая поверхность проволок покрыта примерно одним монослоем Аи. Но если это так, то по мере роста проволоки размер капли на её вершине должен уменьшаться, поскольку атомы расходуются на «золочение» боковой поверхности. При этом диаметр проволоки будет непрерывно убывать вплоть до полного прекращения роста, когда израсходуется всё золото из капли. Ясно также, что чем меньше диаметр исходной капли, тем раньше это произойдёт. Указанный эффект отчётливо наблюдался в экспериментах американских физиков [1]. Выросшие проволоки были не цилиндрическими, а конусообразными, причём самые тонкие (у основания) конусы имели меньшую высоту и капли на их вершинах отсутствовали. Таким образом, сколь угодно длинную нанопроволоку из капли данного размера вырастить невозможно.



Рис. 1.

Но самый замечательный эффект, обнаруженный в [1], состоит в том, что атомы золота способны мигрировать из малых капель в более крупные не только по плоской поверхности подложки (до роста), но и с вершины одной нанопроволоки на вершину другой (расположенной рядом) непосредственно при росте! Результатом такого перетока является формиро-

вание пары нанопроволок с противоположной конусностью (рис.1, масштабные штрихи - 1мкм). Эксперименты in-situ в электронном микроскопе позволили детально исследовать кинетику процесса - три снимка на рис. 2 показывают уменьшение размера капли «В» при одновременном увеличении капли «А» на соседней нанопроволоке (цифры – время роста в секундах, масштабный штрих – 50нм). При этом было установлено, что скорость аксиального роста конусовидной нанопроволоки не зависит от размера капли (не считая последнего участка быстрого скругления). Авторы [2] связывают это с тем, что в их экспериментах лимитирующей стадией является необратимое разложение молекулы дисилана на поверхности жидкой эвтектической капли.



#### Рис. 2.

Итак, эпитаксиальный ПЖК-рост кремниевых нанопроволок в очень чистых условиях наталкивается на фундаментальные ограничения, обусловленные высокой миграционной способностью атомов *Au*. Вместе с тем известно, что при обычной газофазной эпитаксии проволоки растут цилиндрическими, а золото на их боковых поверхностях отсутствует. По-видимому, даже небольших количеств кислорода в ростовой атмосфере достаточно, чтобы эффективно блокировать передвижение атомов золота по поверхности. Получается, что для успешного синтеза нанопроволок технологическая система должна быть чистой, но не чересчур.

С. Чикичев

- 1. Nature 2006, 440, 69
- 2. Phys. Rev. Lett., 2006, 96, 096105

#### Наномагнетизм в Ge нанопроволоках

В ПерсТе уже сообщалось о создании Ge нанопроволок (GeNW), легированных ионами переходных металлов. В Ge нанопроволоках с концентрацией Mn на уровне 1% удалось достичь температуры Кюри 320К, что является безусловным рекордом для разбавленных магнитных полупроводников, интерес к которым подогревается тем обстоятельством, что они являются потенциальными строительными блоками для электроники новой «post-CMOS» эры.

Наномагнитам пророчат широкое применение от медицины (для получения изображений тканей) до новых компьютерных технологий. Сегодня главное направление приложения усилий это создание новых и поиск среди существующих наноматериалов, обладающих многофункциональными свойствами, например, сочетанием ферромагнитных и сегнетоэлектрических или фотохромных и магнитных свойств, а также возможностью управления магнитным состоянием с помощью электрического поля или тока.

Разбавленные магнитные полупроводники интересны в следующих аспектах:

- 1) потенциальное использование в спинтронике;
- 2) создание сенсоров и магнитных ячеек памяти;

3) создание элементов квантовой информатики (магнитные кластеры и джозефсоновские структуры «сверхпроводник-ферромагнетик-сверхпроводник»);

 замена металлических наномагнитов в устройствах на основе эффекта гигантского магнитосопротивления;
создание новых измерительных приборов: магнитная микроскопия, комбинирование временного и пространственного разрешения при высокой чувствительности к магнитному полю.

Авторы работы [1] исследовали электрические свойства Ge нанопроволок толщиной от 50 до 100нм, выстроенных вертикально в диэлектрической матрице из анодированного оксида алюминия (ААО). Опыты были осуществлены в двух вариантах. В первом варианте были проведены макроконтактные измерения для больших групп нанопроволок (рис. 1). Для создания омических контактов пластинки, содержащие вертикально выстроенные нанопроволоки, полировали алмазной пастой до тех пор, пока выступающие нанопроволоки не удалось наблюдать с помощью атомного силового микроскопа (AFM). Затем с кончиков нанопроволок бомбардировкой ионами аргона с энергией 5кэВ снимали окисленный слой. После этого методом химического осаждения на обе поверхности пластинки наносили Аи контакты.



Рис. 1. Схема формирования контактов к матрице нанопроволок

Во втором варианте удалось «подключиться» к отдельным нанопроволокам и исследовать их проводимость. Это оказалось возможным с помощью атомного силового микроскопа, допускающего измерение проводимости, *C-AFM* (рис.2). На рис. 3 показаны *AFM* топография полированной поверхности *GeNW*-AAO и *C-AFM* токовые рельефы при напряжениях 20 и 40В.

Оба метода (макроконтактное подсоединение и измерение проводимости отдельных нанопроволок) дали близкие величины проводимости и вольт-амперные характеристики, указывающие на наличие омических контактов. В частности, измеренные энергии активации проводимости оказались равными 0.58 и 0.61эВ при измерениях на макро- и микроконтактах, соответственно. Эти величины близки к ширине запрещенной зоны объемного *Ge*, равной 0.66эВ. Величина удельного сопротивления нанопроволок оказалась значительно выше по сравнению с сопротивлением чистого объемного *Ge* (0.47 Ом м), что авторы [2] объясняют эффективным рассеянием носителей заряда поверхностью нанопроволок. Именно с этим связано увеличение сопротивления по мере уменьшения диаметра проволок.



Рис.2. Схема подключения контактов к индивидуальной нанопроволоке.

Полученные результаты показывают, что можно создавать хорошие омические контакты на нанопроволоках, что, в свою очередь, является ключевым для разработки приборов спинтроники и оптоэлектроники на нанопроволоках.



Рис. 3. (а) - *AFM* топография полированной поверхности *GeNW*-ААО, (b) - *C-AFM* токовая карта при напряжении 20В, (с) токовая карта при напряжении 40В.

Р.Моргунов

1. J. Phys. Chem. B 2006, 110, 820

### СВЕРХПРОВОДНИКИ Магнетизм, сверхпроводимость и квантовые критические точки

Обычная (синглетная) сверхпроводимость не уживается с дальним магнитным порядком. Напротив, "необычная" (триплетная) сверхпроводимость возникает вблизи фазовой границы, разделяющей магнитоупорядоченную и магниторазу-

порядоченную фазы. Критическая температура Т<sub>с</sub> максимальна, когда эта граница экстраполируется к Т = 0, что говорит о важной роли флуктуаций, связанных с квантовой критической точкой. Поскольку сверхпроводящая фаза "маскирует" магнитную фазовую границу при T < T<sub>c</sub>, то это мешает экспериментальному доказательству существования квантовой критической точки. В работе сотрудников Los Alamos Nat. Lab. и Univ. Illinois at Urbana-Champaign (США) [1] приведены результаты измерения удельной теплоемкости тяжелофермионного сверхпроводника CeRhIn<sub>5</sub> в сильных полях и при высоких давлениях, что позволило построить фазовую диаграмму в координатах Н-Т-Р (см. рисунок). Наряду с квантовой критической точкой (P<sub>c1</sub>) на ней имеется и тетракритическая точка (Pc2). Интересно, что экспериментальные данные неплохо объясняются в рамках модели, развитой ранее для интерпретации индуцированного магнетизма слоистых ВТСП. Авторы считают это аргументом в пользу магнитной природы высокотемпературной сверхпроводимости, хотя и отмечают, что конкретные микроскопические механизмы спаривания в ВТСП и *CeRhIn*<sub>5</sub> могут быть различными.



Рис. 1. *H-T-P* диаграмма состояний *CeRhIn<sub>5</sub>*. МО – магнитоупорядоченная фаза, MD – магниторазупорядоченная фаза, SC – сверхпроводящая фаза.

1. T.Park et al., Nature 2006, 440, 65

#### ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ Электрический переключатель на основе углеродных нанотрубок

Для решения ряда задач наноэлектромеханических систем могут использоваться углеродные нанотрубки (УНТ). Их преимущества - в миниатюрных размерах, сочетающихся с хорошей проводимостью и высокой чувствительностью электронных характеристик к механическому воздействию. Трудности их внедрения связаны с невоспроизводимостью параметров УНТ при массовом производстве. Один из подходов для преодоления невоспроизводимости представлен в работе [1], выполненной в Lab.Electronique Moléculaire (Saclay, Франция). Процедура иллюстрируется на рисунке.



На первом этапе процесса (а) в подложке  $SiO_2$  протравливают паз глубиной ~20нм, шириной 100– 300нм и длиной 10мкм, который заполняют сплавом Ti/Au, так что поверхность металла, используемого в качестве нижнего электрода, оказывается ниже поверхности подложки на 1-10нм. На второй стадии (b) на поверхности подложки химическим путем протравливают неглубокие треки шириной 100нм, которые служат ложем для нанотрубок, утапливаемых и закрепляемых в пазах за счет адсорбции. При этом возможна как двухконтактная (d), так и одноконтактная (e) конфигурация устройства. Электрическое сопротивление нижнего электрода - 600 Ом, а закрепленных в двух точках нанотрубок - в диапазоне между 30 и 100кОм.

Одноконтактную конфигурацию (е) исследовали в качестве электрического переключателя. Нанотрубка диаметром 22нм нависала в виде консоли на высоте 4нм по длине 115нм над утопленным в подложку электродом. При напряжении, меньшем 3B, никакого тока через контакт не наблюдали. При превышении этого напряжения ток резко возрастал от нуля до нескольких сот нА. Интересно, что ток через прибор остается неизменным при снижении напряжения до ~0.5B. Такое поведение обусловлено эффектом электростатического притяжения нанотрубки к нижнему электроду при приложении внешнего напряжения. Описанный переключатель может найти свое применение в устройствах памяти.

А.В.Елецкий

#### 1. Appl. Phys. Lett. 2005, 87, 193107 Самовосстанавливающийся полевой эмиссионный катод на основе углеродных нановолокон

Полевые эмиссионные катоды на основе углеродных наноматериалов (УНМ) имеют низкое пороговое напряжение при достаточно высоком электронном токе эмиссии. Но... такие катоды уязвимы по отношению к ионной бомбардировке, что диктует необходимость эксплуатации катода в условиях высокого вакуума (на уровне 10<sup>-11</sup>Тор). При работе в безвакуумной среде катод, подвергаемый ионной бомбардировке, деградирует за сравнительно короткое время. Один из успешных подходов к преодолению этой проблемы предложен в работе [1], выполненной в Технологическом институте г. Нагоя (Япония). Авторы использовали ионную бомбардировку для восстановления протяженных углеродных нитей, являющихся источником эмиссии. Катод представлял собой графитовую пластину размером 20×20мм<sup>2</sup>. При облучении пластины пучком ионов Ar с энергией 1кВ от вершин выступов отрастали нити диаметром ~25нм и длиной 0.3-2.5мкм. Поверхностная плотность нитей составляла ~10<sup>6</sup>мм<sup>-2</sup>. Облучение проводили в течение 60мин. при давлении ~10<sup>-4</sup>Тор. Эмиссионные характеристики катода исследовали при давлении 6.10-6 Тор и межэлектродном расстоянии 100мкм. Практически во всем диапазоне приложенных напряжений вольт-амперные эмиссионные характеристики хорошо соответствуют классической зависимости Фаулера-Нордгейма, причем плотность тока ~1мкА/см<sup>2</sup> достигается при напряженности электрического поля ЗВ/мкм. Коэффициент усиления электрического поля, рассчитанный в предположении, что работа выхода электрона равна 4.69В, составил величину 2860.

Для контроля временной стабильности эмиссии ток эмиссии измеряли на протяжении 40 часов при напряженности электрического поля 10В/мкм и остаточном давлении ~10<sup>-6</sup>Тор. В первые 6 часов наблюдали плавное снижение тока эмиссии с 0.7мA/см<sup>2</sup> до 0.17мА/см<sup>2</sup>, после чего происходит постепенное повышение плотности тока эмиссии до 0.3мA/см<sup>2</sup>. На этом уровне ток остается стабильным в течение 7 - 20 часов измерений. В последующем плотность тока вновь снижается до 0.17мA/см<sup>2</sup> и не изменяется до конца эксперимента. Тщательное исследование поверхности эмиттера в сканирующем электронном микроскопе на различных стадиях эксперимента указывает на ее существенные морфологические изменения в процессе эмиссии. В частности, снижение тока эмиссии на начальной стадии измерений объясняют уменьшением числа эмиттирующих нитей на поверхности катода. Наряду с этим, в процессе эмиссии наблюдается увеличение толщины выступов, которые являются основаниями для роста новых нитей. Это связано с перераспределением атомов углерода, испаряемых с поверхности эмиттера под действием ионной бомбардировки. Таким образом, наблюдают два конкурирующих процесса. Во-первых, ионная бомбардировка приводит к разрушению эмиттирующих нитей и соответствующему снижению уровня эмиссии, а, во-вторых, – распыление атомов углерода способствует появлению и росту новых нитей, которые также становятся источниками эмиссии. Тем самым можно говорить о способности данного катода к самовосстановлению.

А.В.Елецкий

1. Appl. Phys. Lett. 2005, 87 193102

ПерсТ, 2006, том 13, выпуск 7

### КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ Квантовые вычисления и риманова геометрия



Квантовые компьютеры должны эффективно peшать задачи, недоступные обычным вычислительным устройствам. Пока, однако, известно лишь незначительное число таких задач, к которым относятся, прежде всего, факторизация

больших целых чисел (алгоритм Шора) и поиск в базе данных (алгоритм Гровера). В настоящее время не существует общего метода конструирования квантовых алгоритмов, и мы еще недостаточно представляем себе возможности квантовых компьютеров – действительно ли они обладают огромным потенциалом, или же сфера их применения весьма ограничена.

Под квантовым вычислением обычно понимают последовательность логических операций, каждая из которых затрагивает лишь небольшое число кубитов. Эта последовательность определяет оператор U унитарной эволюции, осуществляемой квантовым компьютером над системой кубитов. Вычисление считается эффективным, если количество операций, требующихся для его реализации, увеличивается по степенному закону с ростом сложности задачи (например, с ростом количества цифр в факторизуемом целом числе) и неэффективным - если оно увеличивается экспоненциально. В работе сотрудников Univ. Queensland (Австралия) [1] (см. также [2]) предложен "геометрический" подход к вопросу об эффективности квантовых вычислений. Для количественного определения меры сложности вычисления ее авторы вводят в рассмотрение функцию F, которая определяет риманову геометрию на пространстве унитарных операций. При этом величина минимального геодезического расстояния между U и единичным оператором I эквивалентна числу операций, необходимых для осуществления U. Таким образом, для разработки новых и анализа эффективности уже известных квантовых алгоритмов можно использовать хорошо развитые математические (геометрические) методы.

- 1. Science 2006, **311**, 1133
- 2. Science 2006, 311, 1106

#### НИТРИДНЫЕ НОВОСТИ

## Как снизить дефектность эпитаксиальных слоев GaP:N?

Сплавы фосфида галлия с замещающими фосфор изоэлектронными примесями (такими как азот), успешно применяют при изготовлении эффективных светодиодов видимого диапазона. Легирование азотом позволяет менять ширину запрещенной зоны сплава, который к тому же испытывает переход от непрямозонного к прямозонному полупроводнику. Соответствие постоянных решеток GaP:N и Si позволит создавать в перспективе оптоэлектронные интегральные схемы на кремниевых подложках. Однако присутствующие в GaP:N дефекты значительно ухудшают его оптические и электрические свойства.

Основные причины дефектообразования в *GaP:N*:

- большое рассогласование в размере и электроотрицательности атомов азота и фосфора (что способствует образованию различных точечных и протяженных дефектов);
- низкая термодинамическая растворимость N в GaP (для ее преодоления рост производят в неравновесных условиях, что также способствует образованию дефектов);
- 3) выращивание *GaP:N* методом молекулярнолучевой эпитаксии требует источника высокоэнергетической азотной плазмы, ионы которой также повреждают выращиваемый слой.

В совместной работе сотрудники Linkoping Univ. (Швеция) и Toyohashi Univ. Technology (Япония) исследовали влияние повреждений, вызываемых ионами азота в процессе роста, на плотность дефектов и интенсивность фотолюминесценции образцов GaP:N [1]. Слои GaN<sub>0.014</sub>P<sub>0.986</sub> толщиной 100нм выращивали на подложках GaP. При этом в процессе роста одного из образцов использовали ионный коллектор, который значительно уменьшал количество ионов азота, сталкивающихся с осаждаемой пленкой. Коллектор представлял собой две параллельные пластины, расположенные поперек выходной апертуры ячейки с плазмой. Контрольный образец выращивали в тех же условиях, но без ионного коллектора.

Сравнительные спектры фотолюминесценции двух образцов изображены на рис.1.

В видимом диапазоне полосы излучения обоих образцов имеют одинаковую форму, что подтверждает единую природу излучательных переходов с локализованных уровней азота. Интенсивность фотолюминесценции образца, выращенного без использования коллектора, имеет более слабый (в 34 раза) отклик, что указывает на большую плотность дефектов в таком материале. Большая плотность дефектов также подтверждается анализом кривых Аррениуса и данными оптически регистрируемого магнитного резонанса.



Рис.1. Спектры фотолюминесценции *GaN*<sub>0.014</sub>*P*<sub>0.986</sub>, выращенного с использованием (толстая линия) и без (тонкая линия) ионного коллектора, измеренные при 3 и 300К. Особенности при 1.03 и 1.22эВ связаны с откликом от дифракционной решетки.

М.Бадгутдинов

1. Appl. Phys. Lett. 2006, 88, 101904

### НОВОСТИ ФИЗИКИ В БАНКЕ ПРЕПРИНТОВ

## Сверхпроводящие флуктуации и псевдощель

Представлены результаты непосредственной экспериментальной проверки гипотезы о сверхпроводящей природе псевдощели в ВТСП. В широком интервале температур измерены вольт-амперные характеристики структур джозефсоновского типа. Сверхпроводящие флуктуации приводят к возникновению на ВАХ недодопированных образцов  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  особенностей, которые, однако, исчезают при  $T-T_c \sim 15$ К, то есть при температурах, намного ниже температуры появления псевдощели  $T^*$ . Это говорит о том, сверхпроводящие флуктуации не имеют к псевдощели никакого отношения и причина ее появления кроется в чем-то другом.

N.Bergeal *et al.*, <u>http://xxx.lanl.gov/abs/cond-mat/0601265</u>.

Contact: Nicolas Bergeal <<u>nicolas.bergeal@espci.fr</u>>

### Сверхпроводящий конденсат на нанометровом масштабе

Сверхпроводники являют собой редкий пример макроскопических систем с квантовой когерентностью. Они описываются единой волновой функцией, амплитуда которой определяется плотностью электронных пар в сверхпроводящем конденсате. Как амплитуда, так и фаза волновой функции определяют величину джозефсоновского тока, возникающего при когерентном туннелировании пар между сверхпроводниками. На эксперименте изучаются свойства сверхпроводящего конденсата как целого, а его локальные характеристики остаются неизвестными. Между тем именно их важно знать для понимания природы "необычных" сверхпроводников, в том числе ВТСП. Французские физики разработали методику исследования сверхпроводящего конденсата на нанометровом масштабе. Она ПерсТ, 2006, том 13, выпуск 7

названа джозефсоновской сканирующей туннельной спектроскопией, поскольку основана на измерении локального джозефсоновского тока между образцом и сверхпроводящей иглой туннельного микроскопа. Преодолев множество технических трудностей, авторы получили первые результаты: построили "карту" локальных джозефсоновских токов в тонких пленках MgB<sub>2</sub>.

Th. Proslier *et al.*, <u>http://xxx.lanl.gov/abs/cond-mat/0602023</u>.

Contact: William Sacks <<u>sacks@gps.jussieu.fr</u>>

#### Критическая температура и концентрация дырок в ВТСП

Принято считать, что критическая температура ВТСП является универсальной функцией концентрации дырок. При этом последняя обычно полагается равной числу дырок, приходящихся на один атом меди в слое  $CuO_2$ . Авторы препринта высказывают мнение, что нужно различать "двумерную" и "трехмерную" концентрации. Их анализ показывает, что  $T_c$  определяется трехмерной концентрацией  $n_h$ , и универсальная колоколообразная зависимость имеет место именно для  $T_c(n_h)$ . Для однослойных ВТСП оптимальная (соответствующая максимуму  $T_c$ ) величина  $n_h$  составляет 1.6·10<sup>21</sup> см<sup>-3</sup>. Т. Honma, P. H. Hor, http://xxx.lanl.gov/abs/cond-

#### mat/0602452.

Contact: Tatsuya Honma < homma@asahikawa-med.ac.jp>

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК Национальный центр нанонауки и технологии США

При Национальном институте стандартов и технологий США (NIST) создается Центр коллективного пользования - Национальный центр нанонауки и технологии (CNST), призванный поддержать приоритет США в этой области путем финансирования фундаментальных исследований. Ученые из частных компаний, университетов и государственных институтов и лабораторий смогут сфокусироваться на преодолении технического препятствия (стоимость/эффективность) на пути к производству продукции, созданной из компонентов атомного и молекулярного размера. CNST будет помогать частному сектору в разработке инновационных продуктов, таких как более эффективные батарейки, легкие и с высокими характеристиками материалы для авиации и автомобилей, миниатюрные чипы для производительных компьютеров.

При *CNST* будет создано нанотехнологическое производство (Nanofabrication Facility, или Nanofab). Большие чистые комнаты будут оснащены современным оборудованием для изготовления, испытания и исследования прототипов различных наноустройств и наноструктурированных материалов. Все это оборудование и аппаратура будут доступны для внешних пользователей. В 2007г. финансирование *CNST* будет увеличено на 20 млн. долл. специально для приобретения и модернизации оборудования и аппаратуры. Центр будет иметь исследовательские программы в области нанотехнологий, сканирующей туннельной микроскопии, наномаг-

нетизма, компьютерного моделирования наноструктур. В течение 2006-2007 г.г. будут по мере необходимости запускаться новые программы.

Новая измерительная лаборатория Центра станет идеальной для проведения нанотехнологических исследований, поскольку будет иметь высокую стабильность электропитания (источники бесперебойного питания) и будет защищена от внешних воздействий, таких как вибрации (от 3 до 0.5мкм/с), нестабильность температурного режима (от ±0.25°С до ±0.1 или ±0.01°С) и режима влажности (контроль с точностью от  $\pm 5$  до  $\pm 1\%$ ). На территории лаборатории (общая площадь - около 50 тыс. кв. м.) будет размещено 338 перестраиваемых лабораторных модуля (некоторые из них подземные, на глубине 12м), чистая комната класса 100/ISO 5 (3.5 частицы на литр воздуха) и производственное помещение (площадью 8250 кв. м.). Имея защищенные от внешних воздействий помещения, ученые смогут разрабатывать средства и методы,

ния, ученые смогут разраоатывать средства и методы способные поднять технологию на новый уровень:

- продемонстрировать возможность запрограммированной автоматической сборки тысяч атомов в структуры, работающие в соответствии с физическими принципами (это приведет к ключевым изменениям процесса "bottom-up" - «снизу-вверх»);
- значительно увеличить диапазон и точность прецизионных лазерных методов для калибровки фотодетекторов;
- продемонстрировать технологии и измерительные методы, требуемые для позиционирования, манипулирования, сборки и производства в масштабе от нанометров до миллиметров (сюда относятся позиционеры, сенсоры и актюаторы, а также средства конструирования, методы моделирования, форматы обмена данными, методы анализа изображений);
- разработать самокалибрующийся стандарт емкости - меры хранения электрического заряда (результатом будет коммерческий стандарт, полезный как для оборонных систем, так и для фундаментальных исследований);
- продемонстрировать методы манипулирования и измерения на одиночных молекулах (программа ультрачувствительных измерений и непосредственного зондирования индиви-

дуальных молекул и управления ими в «лаборатории на кристалле»).

- В лаборатории планируют
- формировать базы данных по фундаментальным свойствам наноструктурированных материалов;
- проводить измерения электрических и магнитных свойств наносистем;
- разработать и использовать спинполяризованный электронный микроскоп для изучения роли магнитных наноструктур в макроскопических магнитных структурах;
- разрабатывать новые измерительные методики для CTM;
- используя атомную сборку, изготавливать совершенные тестовые наноструктуры, демонстрирующие квантовые эффекты;
- изготавливать наноструктуры методами атомной оптики;
- разрабатывать теории для предсказания явлений в структурах нанометрового диапазона.

Нанопроизводство будет оснащено следующим оборудованием:

- 11 печами для выращивания двуокиси кремния (сухой, влажный и низкотемпературный методы), нитрида кремния и поликремния, для процессов легирования бором, фосфором и для отжига;
- установками для сухого травления 5 установок для мелкого сухого травления кремния, двуокиси и нитрида кремния, металлов и для глубокого травления кремния;
- установками для осаждения металлов 5 установок для металлизации подложек, используя термические, электронно-лучевые и распылительные методы;
- установками для разделения подложек;
- нагреваемыми химическими ваннами для влажной химии (одна ванна зарезервирована только для ультрачистых процессов с КМОП приборами);
- литографическим оборудованием (проекционная фотолитография, наноимпринт, электроннолучевая и ионнолучевая сфокусированным ионным пучком);
- диагностической аппаратурой (все виды микроскопии, установки для оптических и электрических измерений).

http://cnst.nist.gov

http://physics.nist.gov/Divisions/Div841/Gp3/nanofab.html

