

В этом выпуске:

СНОВА К ОСНОВАМ

Необычная ковалентная связь в молекуле урана U_2

Обычная (одинарная) ковалентная связь между двумя атомами возникает за счет пары электронов, имеющих противоположные проекции спина и занимающих одну и ту же молекулярную орбиталь, образованную за счет перекрытия атомных орбиталей. Такая связь имеет место, например, в молекуле водорода. Если в формировании связи участвуют по два электрона от каждого атома, то она называется двойной, а если по три – тройной (пример – молекула азота N_2). Выполненные методами квантовой химии исследования характера межатомной связи в димерах различных химических элементов показали, что, действительно, для большинства из них справедливо правило "одна пара электронов – одна связь". Однако в случае, когда в формировании связи одновременно участвуют много электронов, эта простая картина существенно меняется, что в первую очередь касается димеров, образованных атомами переходных металлов или тяжелых элементов. В работе [1] представлены результаты численных квантово-химических расчетов электронного строения молекулы U_2 , которые показывают, что, хотя энергия межатомного взаимодействия в этой молекуле примерно такая же, как в молекулах переходных металлов с многократной связью, характер распределения валентных электронов по связывающим молекулярным орбиталам является совершенно уникальным.

На внешних электронных оболочках атома урана (порядковый номер 92 в Периодической таблице) находятся 6 валентных электронов (конфигурация $5f^3 6d^1 7s^2$), каждый из которых способен в принципе принимать участие в формировании ковалентной связи. Поэтому можно было бы ожидать, что в молекуле U_2 реализуется шестерная ковалентная связь, а спиновое состояние является синглетным (полный спин нуль). Такая ситуация имеет место, например, в димере хрома Cr_2 , у которого тоже двенадцать валентных электронов (по шесть от каждого атома). Однако между электронными конфигурациями атомов Cr и U есть очень существенное различие. В атоме хрома (конфигурация $3d^5 4s^1$) каждая из шести валентных орбиталей (пять $3d$ и одна $4s$) занята ровно одним электроном, тогда как в атоме урана такое же количество электронов распределено по *шестнадцати* орбиталам (семь $5f$, пять $6d$, одна $7s$, три $7p$), энергии которых очень близки друг к другу. И каждая из этих 16 орбиталей может участвовать в формировании межатомной связи в димере. Вопрос – участвует ли? И если да – то как? Ведь валентных электронов не хватит на все эти орбитали, поэтому некоторые из них могут оказаться заполненными лишь частично, а некоторые – и вовсе остаться пустыми.

Дать ответ на эти вопросы могли только строгие расчеты. Они были выполнены методом *CASSCF* (complete-active-space self-consistent-field), допускающим максимальную гибкость в описании электронной структуры и не имеющим ограничений по полному спину. Поскольку для тяжелых атомов становятся существенными

И далее ...

НАНОСТРУКТУРЫ

- 2 Одинокные фотоны с острия
- 3 Квантовая точка считает фотоны
Никель приходит в кремниевую технологию
- Все в одном: инжекция спина

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 3 Гигабиты из нанотрубок
- 4 Ледяные нанотрубки при комнатной температуре
- 5 Наблюдение структурных дефектов графитовых слоев

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

О возможности помехоустойчивых квантовых вычислений с использованием реальных "шумящих" устройств

СВЕРХПРОВОДНИКИ

- 7 Передвижная СКВИД система для магнитокардиографии (Hitachi)

КОНФЕРЕНЦИИ

- 7 26 - 28 октября 2005 г. Москва. Четвертая Международная конференция «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология». 21-24 ноября 2005 г. Махачкала, "Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах".

ИСТОЧНИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

8

релятивистские поправки, они также были учтены. Оказалось, что в формировании ковалентной связи участвуют лишь 10 из 12 валентных электронов: два электрона остаются локализованными на атомах U . При этом, хотя 10 электронов и могли бы разбиться на пары, заняв пять молекулярных орбиталей, картина оказывается иной: лишь три орбитали заняты парами электронов со спинами "вверх" и "вниз" ("нормальные" двухэлектронные связи), тогда как оставшиеся четыре электрона поляризованы по спину и распределены между шестью орбиталями так, что заполнение каждой из них меньше единицы. Эти четыре электрона образуют две "одноэлектронные" и две "слабые одноэлектронные" связи. Интересно, что спины двух локализованных электронов также поляризованы и взаимодействуют

между собой ферромагнитным образом. Таким образом, в молекуле U_2 связывающее ковалентное взаимодействие сосуществует с ферромагнетизмом. Полный орбитальный момент молекулы U_2 составляет 11 а.е., а полный угловой момент (с учетом спина) – 14 а.е. Равновесное (отвечающее минимуму энергии) межатомное расстояние равно 0.243 нм. Частота колебаний 265см^{-1} . Теоретическая величина энергии диссоциации с учетом вклада спин-орбитального взаимодействия – 30.5ккал/моль , меньше экспериментальной – $(52\pm 5)\text{ккал/моль}$. Следует, однако, иметь в виду, что последняя величина пока не подтверждена независимыми измерениями, так что еще неизвестно, что окажется ближе к истине – старый эксперимент или теория.

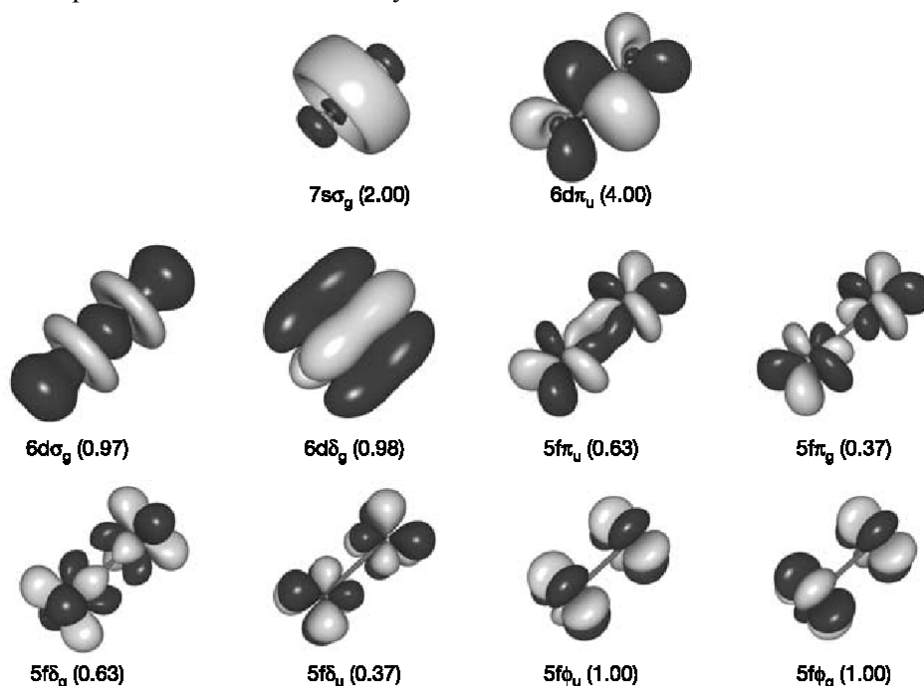
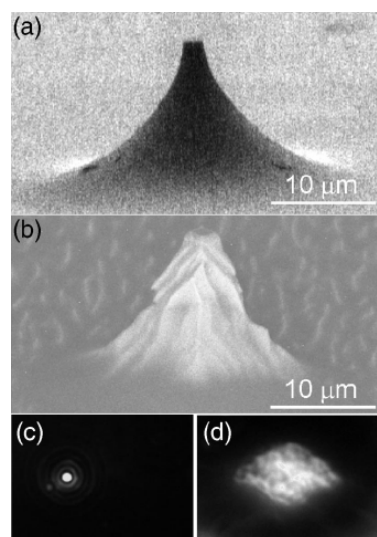


Рис.1 "Активные" молекулярные орбитали, формирующие связь между двумя атомами урана в молекуле U_2 (в порядке возрастания их энергии). В скобках указано число электронов, занимающих данную орбиталь (или пару орбиталей в случае двукратного вырождения).

1. *Nature* 2005, 433, 848

НАНОСТРУКТУРЫ



Одинокные фотоны с острия
В Humboldt Univ. (Германия) изготовлен интересный источник одиночных фотонов - их излучает квантовая точка из InP , находящаяся на вершине конуса [1]. Конус с диаметром вершины несколько микрон вытравливают из $GaAs$ подложки (рис. 1а).

Рис. 1.

После этого с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии выращивают слои $GaInP$ и тонкий слой InP , который и собирается в единственную квантовую точку, затем эту точку укрывают защитным слоем из $GaInP$. Итоговый вид структуры представлен на рис. 1б. На рис. 1с показано свечение квантовой точки в узком диапазоне частот, соответствующем экситонному пику. На рис. 1д показано свечение структуры в белом свете.

Авторы доказали, что структура надежно излучает именно одиночные фотоны. Такой источник может найти применение в системах квантовой коммуникации.

В.Вьюрков

1. *Appl. Phys. Lett.* 2005, 86, 091911

Квантовая точка считает фотоны

Для систем квантовой коммуникации, кроме источников одиночных фотонов, требуются еще и их детекторы. До сих пор с этой целью применяли фотоумножители, чувствительность которых достаточно высока, чтобы регистрировать одиночные фотоны. Однако при этом у них слишком большой процент ложных срабатываний. Ученые из Toshiba Research Europe Ltd. и Cavendish Laboratory (Англия) [1] предложили и реализовали детектор одиночных фотонов, основанный на квантовых точках, встроенных в резонансно-туннельный диод. По характеристикам это устройство превосходит фотоумножитель. Образцы выращены на полуизолирующей GaAs подложке молекулярно-лучевой эпитаксией. Типичная структура слоя – 200нм GaAs буферный слой, 10нм AlAs стоп-слой для травления, 230нм GaAs эмиттер с градиентным легированием от $1 \cdot 10^{18}$ до $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, 20нм нелегированный GaAs разделитель, 10нм $\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.67}\text{As}$ барьер, 10нм GaAs яма, 10нм $\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.67}\text{As}$ барьер, 2нм GaAs разделитель, InAs «самособранный» слой квантовых точек, 310нм нелегированная GaAs область, и 50нм GaAs коллектор *n*-типа. Слой квантовых точек с плотностью 100 мкм^{-2} изготовлен осаждением InAs на GaAs по методу Странского-Крастанова. Толстый слой выше слоя квантовых точек служит светопоглощающим слоем.

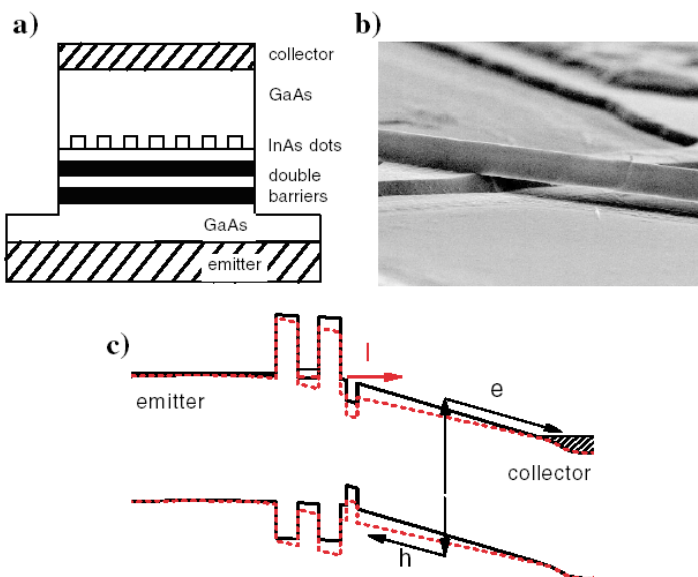


Рис. 1. (а) - схематический разрез структуры, (б) - вид сверху в сканирующем электронном микроскопе - активная площадь – 1 мкм^2 , (с) - зонная диаграмма структуры при прямом смещении близко к резонансу: захват квантовой точкой одиночной фотовозбужденной дырки снижает потенциал точки и изменяет условие резонансного туннелирования (штриховая линия).

В.Вьюрков

1. Phys.Rev.Lett. 2005, 94, 067401

Никель приходит в кремниевую технологию

Силициды титана (TiSi_2) и кобальта (CoSi_2) уже используют в кремниевой технологии. Предполагается, что при уменьшении размеров транзисторов произойдет вытеснение этих материалов силицидом никеля (NiSi), который обладает меньшим сопротивлением. Однако до сих пор главным препятствием для его внедрения была плохая термостабильность. Для значительного увеличения термостабильности корейские специалисты предлагают новый метод формирования трехслойных структур Ni-Co-TiN с помощью водородной плазменно-ионной имплантации [1].

1. IEEE El. Dev. Lett. 2005, 26, 90

Все в одном: инжекция спина

G. Schmidt (Univ. Wurzburg) опубликовал обзор, включающий все известные в настоящее время способы инжекции спин-поляризованных электронов в полупроводниках, что является основой устройств спинтроники.

1. J.Phys. D: Appl.Phys. 2005, 38, R107.

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

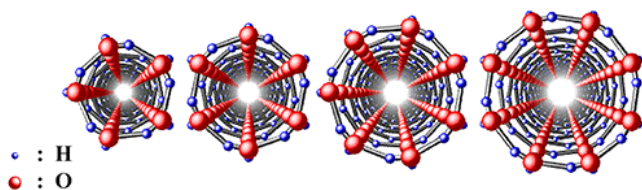
Гигабиты из нанотрубок

Сотрудники Georgia Institute of Technology (США) рассмотрели возможность использования углеродных нанотрубок в качестве межсоединений в сверхбольших (гигабитных) интегральных схемах. Необходимость искать альтернативу сегодняшней меди вызвана тем, что при нанометровых размерах медных межсоединений в них значительно усиливаются процессы электромиграции, кроме того возрастает сопротивление из-за рассеяния на границах зерен и шероховатостях поверхности. Напротив, электроны в углеродных нанотрубках имеют длину свободного пробега несколько микрон, и углеродные нанотрубки способны выдерживать исключительно большие плотности тока. Расчеты показывают, что углеродные нанотрубки вполне могут заменить медь по своим электрофизическим параметрам. По предположению авторов [1] углеродные нанотрубки выступают в качестве межсоединений в технологии с характерным размером 22нм. Наступление этой эры ожидается к 2016 году. Важным препятствием, однако, является создание хорошего контакта с кремнием. К сожалению, авторы не проводят сравнения с NiSi нанопроводами, которые также обладают низким сопротивлением и, кроме того, образуют хороший контакт с кремнием (см. ПерсТ, 2004, 11, вып. 14).

В.Вьюрков

1. IEEE El. Dev. Lett. 2005, 26, 84

Ледяные нанотрубки при комнатной температуре



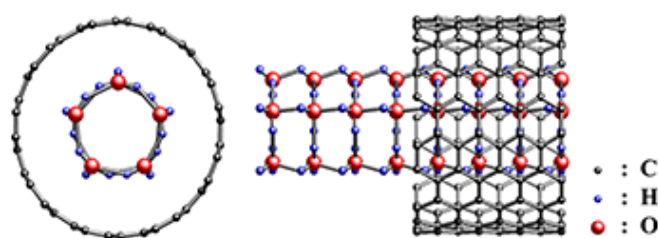
Ежегодно 22 марта во всем мире отмечается Международный день воды под девизом «Вода – это жизнь». Действительно, вода – одно из самых распространенных на нашей планете соединений. Вода в океанах и морях; вода на суше – в озерах, реках, ледниках; подземная вода. Вода обязательно присутствует во всех живых организмах. Вода – перспективный непрерывно возобновляемый источник водорода для водородной энергетики. Здесь идет речь о больших объемах, больших массах. Однако и вода, ограниченная в нанобъеме, участвует в важных процессах. Например, около 20% массы биологических мембран (толщиной 5-10 нм), регулирующих обмен веществ между клетками и средой, а также между отсеками внутри клеток, составляет прочносвязанная вода. Ученые ожидали, что физические свойства воды в нанобъеме могут оказаться совсем другими, но изучать их еще недавно было очень сложно.

Однако ситуация упростилась с появлением уникальных наноконтейнеров – углеродных нанотрубок. Авторы [1] выполнили моделирование с использованием метода молекулярной динамики и показали, что молекулы воды не только могут проникать в гидрофобные каналы открытых одностенных углеродных нанотрубок, помещенных в резервуар с водой, но и двигаться по ним. Внутри нанотрубки диаметром 0.8 нм и длиной 1.34 нм молекулы воды образуют одномерно упорядоченные цепочки из примерно 5 молекул, связанных сильной водородной связью. Флуктуации плотности вне нанотрубки приводят к высоко согласованному, но быстрому «дрейфу» молекул воды вдоль оси нанотрубки, приводящему к импульсным выбросам воды. Разрыв цепочки энергетически невыгоден и происходит крайне редко. Полученные результаты важны для понимания некоторых биологических процессов, а также могут быть использованы при создании определенных типов сенсоров.

В работе [2] сообщается о заполнении водой (из паровой фазы) одностенных углеродных «нанорожек» (ОСНР) при 303 К. Внутреннее пространство становится доступным после обработки образцов в чистом кислороде при 693 К. Такое окисление открывает концы ОСНР и создает «окна» в стенках. Адсорбция водяного пара начинается на активных центрах, обусловленных, по мнению авторов, функциональными кислородными группами. Затем адсорбированные молекулы действуют как вторичные центры, на которых растут кластеры воды до

тех пор, пока не достигают критического размера (пяти молекул). Общая сорбционная емкость связана с пористой структурой ОСНР (как внутреннего, так и промежуточного пространства). Возможность контролируемого заполнения ОСНР водой открывает новые возможности для изучения фазовых переходов воды в ограниченном гидрофобном пространстве. Авторы предположили, что при достаточно сильном охлаждении воды, ограниченной внутри нанопространства, возможно образование высокоплотного аморфного льда.

Японские ученые (Nanotechnology Res. Inst., National Inst. Advanced Industrial Sci. and Techn. (AIST), Tokyo Metropolitan University) [3,4] недавно показали, что «ледяные» нанотрубки внутри одностенных углеродных нанотрубок существуют даже при комнатной температуре и давлении ниже атмосферного! Данные по рентгеновской дифракции получены с использованием синхротронного излучения (Photon Factory, KEK, Япония). Авторы изучили шесть образцов нанотрубок, средние диаметры которых составляли 1.17; 1.30; 1.34; 1.35; 1.38; 1.44 нм. ОСНР были запаяны в кварцевые трубки (диаметром 0.7 мм и длиной 20 мм) с парами воды. Давление воды при $T > 300$ К было принято равным давлению насыщенного пара при комнатной температуре (27 Торр.), т.к. один конец трубки всегда находился при 300 К. Измерения проводили от 90 до 360 К. Оказалось, что при пониженных температурах внутри ОСНР образуются трубчатые структуры льда, названные авторами «ледяными» нанотрубками. Их температура плавления T_m зависит от диаметра ледяных нанотрубок. Идентифицировано 4 упорядоченные структуры, приписанные полигональным «ледяным» нанотрубкам. В частности, ледяная нанотрубка диаметром 1.17 нм состоит из стопки кольцевых структур из 5 молекул воды (см. рис.).



Ее температура плавления 300 К! При уменьшении диаметра температура плавления растет от 190 К (восьмиугольные нанотрубки) до 300 К (пятиугольные нанотрубки) без приложения высокого давления. При уменьшении диаметра происходит переход от объемных явлений к явлениям на атомном уровне. Еще один интересный и немаловажный факт – при повышении температуры до 318 К вода мгновенно испаряется из нанотрубки. Этот экзотический эффект может найти и практическое применение.

О.Алексеева

1. *Nature* 2001, **414**, 188
2. *Chem. Phys. Lett.* 2002, **366**, 463
3. *Chem. Phys. Lett.* 2005, **401**, 534

4. http://www.aist.go.jp/aist_e/latest_research/2004/20041224/20041224.html

Наблюдение структурных дефектов графитовых слоев

Углеродная нанотрубка представляет собой полупроводник, электронные свойства которого зависят от ее структуры. В частности, ширина запрещенной зоны однозначно связана с диаметром и индексами хиральности нанотрубки. Появление дефектов в поверхностной структуре нанотрубки изменяет ее электронные характеристики, в частности, приводит к образованию гетеропереходов, что значительно расширяет возможности использования нанотрубок в нанoeлектронике. В связи с этим актуально создание нанотрубок с заранее определенными структурными дефектами. Прежде всего, важно разработать методики обнаружения поверхностных дефектов в структуре нанотрубок и установить их природу. В работе [1], соавтор которой первооткрыватель нанотрубок С.Иджима (Япония), сообщается о наблюдении поверхностных дефектов в однослойных углеродных нанотрубках с помощью просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ).

Авторы разработали специальную методику, основанную на оптическом преобразовании Фурье изображений нанотрубок, полученных в ПЭМ. В результате появилась возможность определять не только диаметр, но и индексы хиральности исследуемой нанотрубки, которые изменяются при появлении поверхностных дефектов. Оказалось, что поверхностный дефект в однослойной нанотрубке, возникший под воздействием электронного пучка, изменяет индексы хиральности с (17, 0), соответствующих полупроводниковой нанотрубке, на (18, 0), соответствующих металлической проводимости. Полученная таким образом композитная нанотрубка обладает свойствами нанодиода и может быть использована как основа для создания сверхминиатюрной интегральной схемы.

При дальнейших исследованиях дефектов графитовой поверхности авторы использовали углеродные конические структуры большого диаметра. На некоторых изображениях таких структур в ПЭМ высокого разрешения, полученных до и после электронного облучения, ясно видны различия, приписываемые образованию структурных дефектов. Средняя поверхностная плотность таких дефектов порядка 0.3 нм^{-2} . Авторы различают три типа дефектов (топологические дефекты типа пятиугольник-семиугольник, вакансии и адатомы), образующихся при электронном облучении. При этом указывается на необходимость выяснения условий облучения, благоприятствующих образованию каждого из этих типов дефектов.

А.В.Елецкий

1. *Nature* 2004, **430**, 870

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

О возможности помехоустойчивых квантовых вычислений с использованием реальных "шумящих" устройств

Теоретически квантовые компьютеры позволяют решать задачи, которые не под силу обычным ЭВМ. На практике, если квантовый компьютер удастся так изготовить, он должен будет функционировать не в вакууме, а в реальном "шумящем" окружении, которое, воздействуя на нежные квантовые состояния, приводит к сбою их когерентности, а значит – и к ошибкам в квантовых расчетах. Для создания помехоустойчивого квантового компьютера необходимо научиться исправлять ошибки, неизбежно возникающие по ходу вычислений. Но известные на сегодняшний день алгоритмы коррекции ошибок работают лишь в том случае, если вероятность ошибки за время одной операции (*error per gate*, *EPG*) очень мала, порядка $10^{-5} \div 10^{-4}$ (по различным оценкам). Такого низкого уровня *EPG* добиться не так-то легко. Например, при операции с двумя кубитами в ионной ловушке или в ансамблевом жидкостном ЯМР-компьютере величину *EPG* не удастся сделать ниже $3 \cdot 10^{-2}$.

В работе [1] (*NIST*, США) предложена простая архитектура, позволяющая выполнять достоверные квантовые вычисления даже при *EPG* порядка одного процента. Она основана на неоднократном последовательном применении корректирующих кодов к исходной системе "физических кубитов" (рис. 1) или к "физической операции" с этими кубитами, вследствие чего вероятность ошибки быстро уменьшается по мере увеличения числа "уровней" (рис. 2). По сути дела, при достаточно большом числе таких уровней ошибку можно довести практически до нуля. Другой вопрос – каких это потребует ресурсов. Из представленных на рис. 3 результатов видно, что даже при $EPG = 10^{-2}$ число операций, необходимых для помехоустойчивого квантового вычисления, хоть и велико, но сопоставимо с ресурсами современных классических компьютеров ($\sim 10^8$ транзисторов, работающих на частоте $\sim 10^9$ Гц, выполняют $\sim 10^{17}$ операций в секунду). Но в любом случае, чем ниже *EPG* для элементарной операции, тем менее жесткие требования к квантовому компьютеру в целом. Так что поиск минимально подверженных декогеренции физических кубитов и методов управления ими по-прежнему остается актуальнейшим направлением в области обработки квантовой информации.

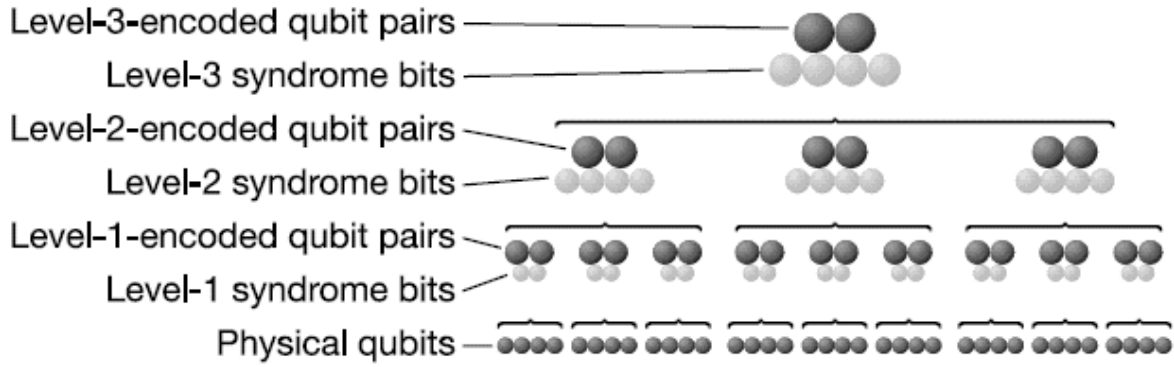


Рис. 1 Условное изображение 3-уровневой схемы коррекции ошибок.

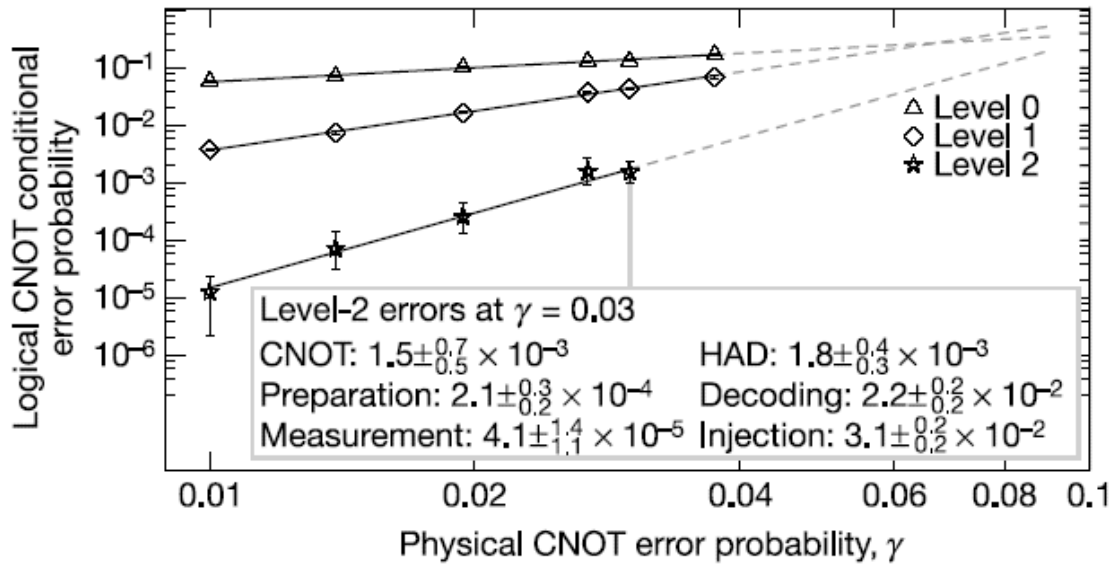


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки логической операции *CNOT* от вероятности ошибки одной физической операции *CNOT* для различного числа уровней в схеме коррекции ошибок.

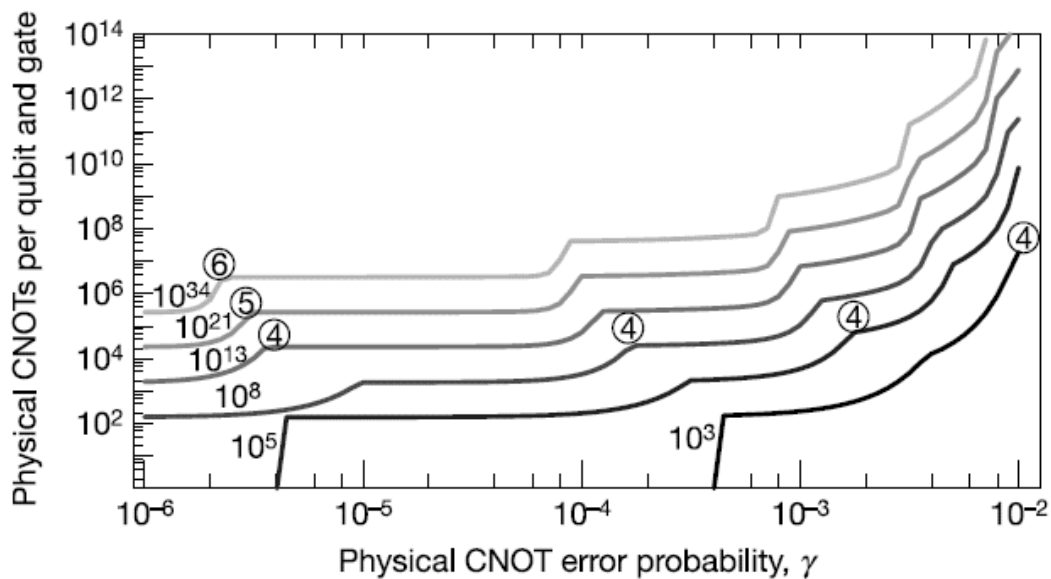


Рис. 3. Требуемое число физических *CNOT*-ов (в расчете на один кубит и одну операцию) как функция вероятности ошибки γ (*EPG*) при одной операции *CNOT* для различного (от 10^3 до 10^{34}) числа выполняемых операций. Числа в кружках – необходимое для коррекции ошибок количество уровней.

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Передвижная СКВИД система для магнитокардиографии (Hitachi)



Рис. 1. Внешний вид 51-канальной системы на ВТ СКВИДах для магнитокардиографии.

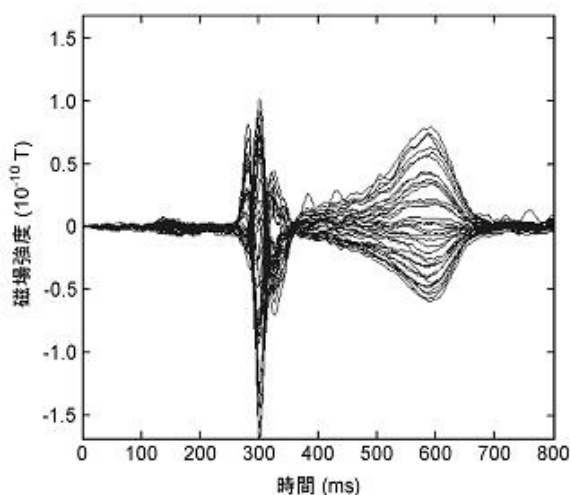


Рис. 2. Магнитокардиограмма сердца здорового человека.

Группа сотрудников Исследовательского центра Hitachi разработала передвижную 51-канальную систему для магнитокардиографии на основе высокотемпературных ВЧ СКВИДов. Традиционно СКВИД магнитокардиограф устанавливают в специальной экранированной комнате. В системе Hitachi используют эффективный магнитный экран, устанавливаемый непосредственно над измерительной установкой (рис. 1). По результатам 3-х мерного моделирования магнитного экрана получены оптимальные параметры: ослабление внешнего поля - 35дБ в магнитном экране длиной 1.6м, высотой 1.4м и шириной 1м. Многоканальная система обладает высокой чувствительностью (50фТл/√Гц), что позволяет проводить магнитные измерения сразу всего сердца и получать картину текущего распределения поля.

Так как экран открыт с обеих сторон, то измерительная часть, смонтированная над кроватью, подводится к области сердца пациента вне экрана, за-

тем для проведения измерений кровать передвигают в экранированное пространство. Это позволяет избежать неприятного для пациента ощущения закрытого пространства. Профили магнитокардиограмм можно наблюдать сразу на мониторе.

Систему можно использовать для различных целей, например, для профилактической проверки сердца большой группы пациентов, выявляя заболевания на ранней стадии.

Для стабильности работы ВЧ СКВИДов разработана автоматизированная система осаждения ВТСП пленок.

КОНФЕРЕНЦИИ

26 - 28 октября 2005 года. Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В.Ломоносова. Четвертая Международная конференция «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология». Тематика:

- фундаментальные исследования в области технологии углеродных материалов, совершенствование процессов их производства и использование в промышленности;
- развитие сырьевой базы для производства новых углеродных материалов, и, прежде всего, электродных материалов и материалов для металлургических, электрохимических и плазмохимических производств на основе углерода;
- проблемы сертификации углеродных материалов.

Контакт

Евдокимова Елена Владимировна

Тел. (095) 939 36 07

E-mail <Evdokimova.msu@rambler.ru>

В рамках конференции будет организована выставка достижений в области разработки, производства и применения углеродных материалов.

Ключевые даты:

30 апреля 2005 года – предварительная регистрация.

31 мая 2005 года – последний срок представления тезисов докладов.

21-24 ноября 2005 г. Махачкала, Республика Дагестан, Россия

- Международная конференция “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах”, посвященная 70-летию чл.-корр. РАН И.К.Капилова.
- В ее рамках сателлитный VII Международный семинар “Магнитные фазовые переходы”.

Тематика конференции и семинара:

1. Магнитные фазовые переходы;
2. Компьютерное моделирование фазовых переходов и критических явлений;
3. Фазовые переходы и критические явления в сегнетоэлектриках, высокотемпературных сверхпроводниках и манганитах;

4. Критические явления в жидкостях;
5. Фазовые переходы, нелинейные явления и хаос в конденсированных средах;

Подробности на сайте <http://conference.iwt.ru>

Группа компаний «АМТ&С» - лидер российского рынка магнитных материалов и технологий - предлагает



ИСТОЧНИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ для научных и прикладных целей

- расчет, конструирование и производство
- источники на постоянных магнитах и электромагнитные
- создание полей большой интенсивности, высокой однородности, сложной конфигурации
- магнитные материалы высшего качества

<http://www.NdFeB.ru>

e-mail: pmt@NdFeB.ru

тел/факс +7 (501) 443 67 14



Экспресс-бюллетень ПерсТ выходит
при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям РФ,
Научных Советов Российских научно-технических программ:

“Актуальные направления в физике конденсированных сред”,
“Перспективные технологии и устройства микро- и наноэлектроники”, “Физика твердотельных наноструктур”

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:

О.Алексеева, В.Вьюрков, А.Елецкий, Ю.Метлин, Л.Опенков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Ответственный за тираж: Ю.Мухин

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