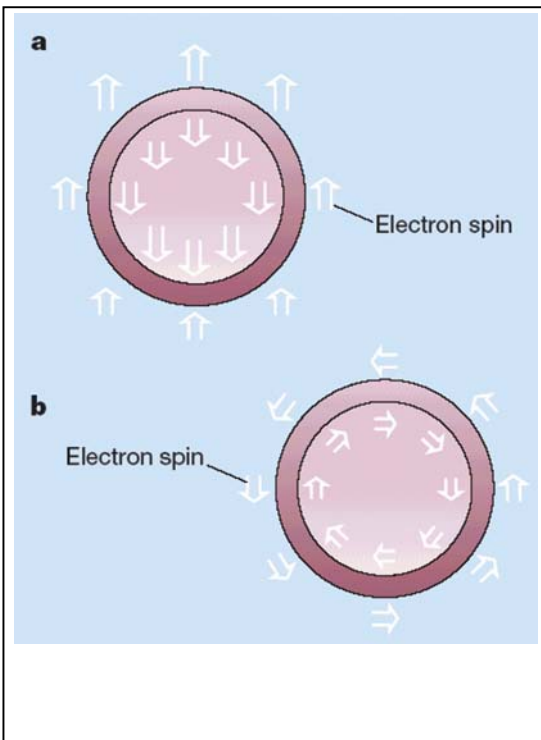


В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### Несимметричная сверхпроводимость



Симметрия имеет фундаментальное значение для понимания явлений Природы и их описания. В частности, законы сохранения импульса и энергии являются следствиями симметрии пространства и времени. Однако окружающий нас мир зачастую оказывается несимметричным. Например,  $\beta$ -распад происходит вследствие отсутствия зеркальной симметрии у ядер. Нет этой симметрии и у молекул ДНК. Потеря симметрии иногда приводит к удивительным явлениям. Так, нарушение калибровочной симметрии ассоциируется с возникновением сверхпроводимости – бездиссипативного переноса электрического заряда.

При этом электроны разбиваются на пары, в каждой из которых их спины направлены противоположно друг другу. Спиновая часть волновой функции такой пары антисимметрична (синглетное спаривание), поэтому координатная часть – симметрична, в соответствии с требованием антисимметрии полной спиново-координатной волновой функции системы фермионов по отношению к перестановке двух частиц. Возможна и другая ситуация, когда спины частиц в паре сонаправлены. Она реализуется, например, в жидком  $^3\text{He}$ . При этом спиновая часть волновой функции симметрична (триплетное спаривание), а координатная – антисимметрична. Тот факт, что координатная часть может быть либо симметричной, либо антисимметричной, вытекает из неразличимости состояний, получающихся одно из другого путем перестановки координат двух электронов.

В статье [1] сообщается о наблюдении сверхпроводимости в магнитном соединении  $\text{CePt}_3\text{Si}$ , структура которого не обладает зеркальной симметрией. Поэтому координатная часть волновой функции не может быть просто симметричной или антисимметричной. Не может быть таковой и ее спиновая часть. Но требование к антисимметрии полной волновой функции никто не отменял, поэтому в таком сверхпроводнике состояние куперовской пары представляет собой смесь синглетного и триплетного состояний.

И далее ...

## НАНОСТРУКТУРЫ

2 Тонкий кремний – будущее микроэлектроники

3 Что такое терагерцовый SET?

Серийные квантовые точки от Elie Caron

## КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР

4 Летящий кубит

## МАГНИТЫ

5 О садах Сакуры, химических садах и магнитном поле

## СНОВА К ОСНОВАМ

6 Новое в термолюминесценции и не только

## БОЛЬШИЕ ПРОЕКТЫ

7 Сверхпроводники в Центре перспективных энергетических систем США

## КОНФЕРЕНЦИИ

8 1 - 8 мая 2004.

г. Сид (Анталия, Турция).  
“Современные аспекты организации неразрушающего контроля качества продукции на промышленном предприятии”.

31 мая – 4 июня 2004.

г. Ялта, Украина.  
“Композиционные материалы в промышленности”

20–24 сентября 2004.

г. Ялта, Украина.  
“Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики”

Наглядно это состояние можно представить себе следующим образом [2]: ориентация электронных спинов в куперовских парах "поворачивается" при обходе поверхности Ферми. Каковы последствия таких необычных спиновых (а, следовательно, и пространственных) конфигураций для сверхпроводящих свойств, еще предстоит разобраться. Для дальнейшего прогресса в этом направлении крайне желательным представляется найти еще хотя бы несколько подобного рода сверхпроводников. Помимо  $CePt_3Si$ , уже появилось сообщение [3] о сверхпроводимости (правда, под давлением) соединения  $Ulr$ , также не обладающего зеркальной симметрией. Эти сверхпроводники объединяет то, что оба они подозреваются в магнитном механизме спаривания носителей.

Л. Оленов

1. E. Bauer et al., *Phys. Rev. Lett.*, 2004, **92**, 027003
2. S.S. Saxena, P. Monthoux, *Nature*, 2004, **427**, 799
3. T. Akazawa et al., *J. Phys. Cond. Matt.*, 2004, **16**, L29

## НАНОСТРУКТУРЫ

### Тонкий кремний – будущее микроэлектроники

Специалисты IBM в докладе на International Electron Device Meeting (IEDM'2003) заявили, что будущее кремниевой технологии за полевыми транзисторами на сверхтонком слое кремния. Им удалось изготовить и измерить характеристики транзисторов *n*- и *p*-типа проводимости канала, которые имеют рекордно малые размеры. Разрез структуры представлен на рис. 1. Отправной точкой технологического маршрута является использование подложки типа «кремний на изоляторе» (КНИ, или *SOI*). Изготавливают ее по обычной технологии, затем слой кремния утончают до 8 нм. На нем формируют подзатворный диэлектрик, в качестве которого были испробованы чистый термический оксид кремния, а также насыщенный азотом, кроме того, применялся и материал с большой диэлектрической проницаемостью, а именно  $HfO_2$ . Эквивалентная толщина подзатворного оксида составляла 0.9-1.5 нм. Затем формиро-

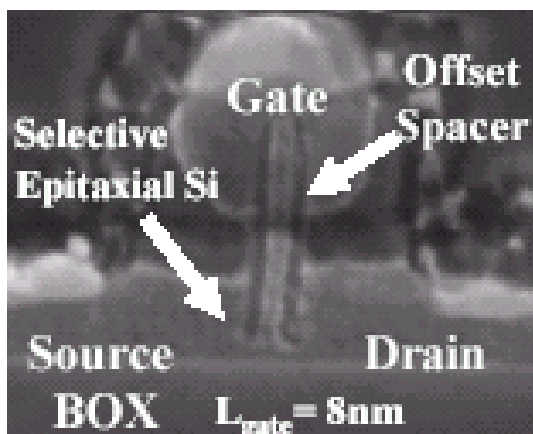


Рис. 1.

вали затвор длиной 8 нм. Это ключевое место в изготовлении транзистора. Подробности этого процесса, естественно, не раскрываются. Сказано только, что используется фотолитография и травление. Вокруг затвора формируют спейсеры с общей шириной 12 нм. Далее устраиваются области, продлевающие контакты (extensions) истока и стока к каналу транзистора. Ранее эти области представляли собой мелколегированные зоны исходного тонкого слоя кремния. Авторы предложили и здесь использовать метод «подъема контакта» (raised contacts), который применялся ранее только для областей контакта истока и стока с тонким слоем кремния для уменьшения сопротивления. Подъем контакта осуществляется с помощью эпитаксиального наращивания кремния. Использование аналогичного приема по отношению к продленным контактам также позволяет уменьшить их сопротивление  $R$ . В то же самое время, как легко видно на рис. 1, происходит увеличение емкости  $C$  между областью истока/стока и затвором. На быстродействии транзистора сказывается время  $RC$ , поэтому потребовалась тщательная оптимизация.

Использование тонкого слоя кремния в качестве канала транзистора позволяет его вовсе не легировать, что обеспечивает большую подвижность носителей в нем. Правда, для тонкого слоя существенным становится поверхностное рассеяние. Теория дает исключительно сильные зависимости подвижности от толщины слоя в квантовом пределе. Авторы подчеркивают, что почему-то в их транзисторах этого не происходит.

Оба типа транзисторов обладают хорошими статическими характеристиками, но что самое главное, получено малое время задержки – 0.6 пс. Следует, однако, отметить, что по сравнению с транзистором, представленном два года назад на IEDM'2001, не произошло существенного увеличения быстродействия. Прежний транзистор имел длину затвора 39 нм и более толстый слой кремния. Его максимальная частота была 195 ГГц. В области кремниевых транзисторов это превышает рекорд, установленный биполярными транзисторами на *Si/Ge*. А вот затвор в транзисторе фирмы Fujitsu с максимальной частотой 185 ГГц имел и вовсе большую длину – 80 нм. Все дело в том, что для длины канала транзистора меньше 0.1 мкм быстродействие определяется уже в большей степени не временем пролета, как было раньше, а  $RC$ -временами задержки. На это обращают внимание и авторы цитируемой работы. Так что, есть на чем сосредоточить усилия конструкторам будущих нанотранзисторов.

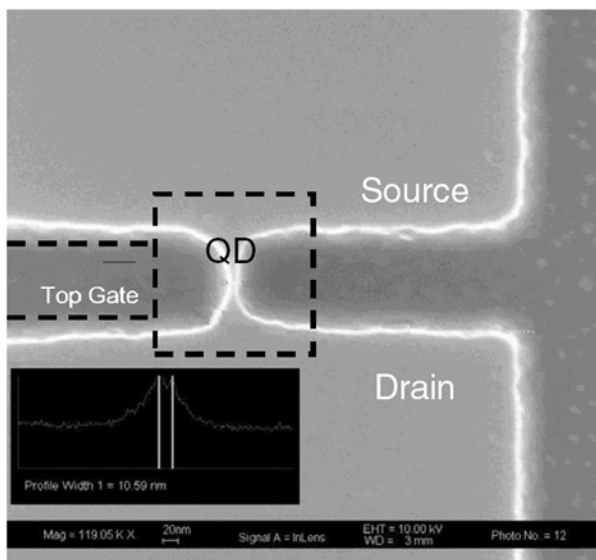
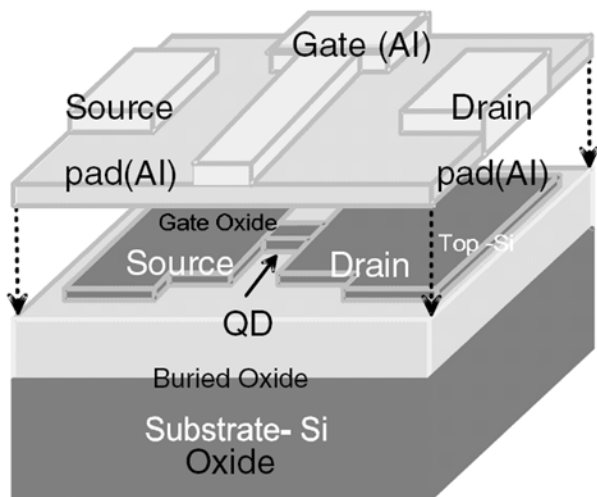
Следует особо подчеркнуть, что за исключением операций изготовления короткого затвора, все остальные части рассмотренных транзисторов формировали по технологии 0.18 мкм!

В. Вьюрков

1. *Proc. IEDM'2003, Washington, Dec. 2003, S27P3*

## Что такое терагерцовый SET?

В заголовок статьи сотрудников Chungbuk National University (Корея) вынесены слова «терагерцовый сверхбыстродействующий одноэлектронный транзистор» (*SET*). В заголовки статей по кремниевым полевым нанотранзисторам (*MOSFETs*), в которых видят будущее кремниевой технологии, выносят гораздо более скромные цифры, рекордными являются 200ГГц. Не означает ли это, что *SET*ы превосходят *MOSFET*ы по быстродействию? Попробуем в этом разобраться.



Главным недостатком *SET*ов, препятствующим их практическому использованию в быстродействующих логических схемах (например, в процессорах), является огромное внутреннее сопротивление туннельных контактов между истоком/стоком и центральным островком транзистора. Для обеспечения кулоновской блокады на этом островке сопротивления туннельных контактов  $R$  к нему должны превосходить квант сопротивления  $(e^2/h)^{-1} \approx 26\text{кОм}$ . Обычно с запасом делается 100кОм. В противном случае не будет происходить локализация отдельных электронов на островке, и они получат возможность квантовой «размазки» между островком и контактами. Если умножить  $R$  на внешнюю емкость  $C_{out}$  (импеданс) подводящих

контактов, то окажется, что характерная частота работы *SET*а в схеме попадает всего лишь в килогерцовый диапазон. Есть, правда, прием снижения выходного импеданса, заключающийся в том, чтобы на выходе *SET*а навесить полевой транзистор. Но тогда, спрашивается, зачем *SET*, если из одних полевых транзисторов можно сделать быстродействующую схему.

То, что впервые удалось добиться авторам статьи, заключается в уменьшении емкости туннельного контакта  $C_{in}$  за счет уменьшения его площади. Произведение  $RC_{in}$  дает внутреннее быстродействие *SET*а, и, фактически, время туннелирования электрона из контактов на островок. В данном случае это время определяется вероятностью туннелирования. Впервые удалось получить внутреннее быстродействие одноэлектронного транзистора, соответствующее частоте 1.3ТГц. Надо заметить, что и в этом показателе *SET*ы не превосходят *MOSFET*ы, в которых достигают времена задержки 0.6нс, причем, при комнатной температуре, в то время как для *SET*а потребовалась температура 4.2К.

Интересно, что оба типа рекордных транзисторов изготавливаются на подложках «кремний на изоляторе» (КНИ – *SOI*). Вид рассмотренного одноэлектронного транзистора и его микрофотография представлены на рис. 1.

В.Вьюрков

1. *Semicond. Sci. Technol.* 2004, 19, L39

## Серийные квантовые точки от Elie Caron

Не будет преувеличением сказать, что вся наша цивилизация держится на *серийном* производстве.. Одинаковость (в заранее оговорённых пределах) – *главный* признак *любой* серии. И *главная* проблема – в технологии квантовых точек (КТ). Те, кто делают КТ способом Странского-Крастанова, про одинаковость даже не вспоминают, потому что её просто нет. Есть, однако, ситуации, когда эта одинаковость совершенно необходима, например, когда речь идет о полупроводниковом приборе, в основе которого лежит одна-единственная квантовая точка.

Весьма обнадеживающе результаты в этом направлении нанотехнологии опубликованы 15 марта 2004 года группой швейцарских физиков (во главе с Elie Caron) из Швейцарского Федерального Технологического Института (Лаборатория физики наноструктур Института квантовой фотоники и электроники), г.Лозанна [1].

Серийное производство пирамидальных КТ в Лозанне организовано методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений на подложке  $GaAs(111)$  с предварительно вытравленными в ней тетрагональными ямками (шаг – 5 мкм, сторона тетраэдра – 1 мкм, ямки расположены по узору плоской гексагональной решётки). На такую подложку последовательно наносится несколько слоёв:

№1 –  $Al_{0,75}Ga_{0,25}As$  (45нм,  $T_p=730^\circ\text{C}$ );

№2 –  $Al_{0,55}Ga_{0,55}As$  (130нм,  $T_p=770^\circ\text{C}$ );

№3 –  $Al_{0,30}Ga_{0,70}As$  (70нм,  $T_p=770^\circ C$ );  
 №4 –  $In_{0,10}Ga_{0,90}As$  (0.5нм,  $T_p=770^\circ C$ );  
 №5  $\equiv$  №3;  
 №6  $\equiv$  №2

Толщины здесь условные и относятся к росту на подложке (100)-ориентации. При этом в вершине каждой пирамидальной ямки образуется пирамидальная же квантовая точка из  $InGaA$ , (да ещё и с присоединённой вертикальной квантовой проволокой из обогащённого галлием, т.е. **более низкоомного  $AlGaAs$** ).

Проверка на серийность происходит следующим образом. Кусочек пластинки с КТ ( $\sim 10^4$  штук) помещают в проточный гелиевый криостат, охлаждают до 20К, и с каждой 20-й квантовой точки в каждом 20-м ряду снимают индивидуальный спектр фотолюминесценции (ФЛ). Накачка осуществляется лучом  $Ar^+$ -лазера ( $\lambda=514$ нм), сфокусированным в субмикронное пятно с мощностью, регулируемой от 16нВт до 32мкВт. Наблюдаемая ширина линий ФЛ (полная ширина на половине высоты – ПШПВ) не превышала 140мкэВ и ограничивалась разрешающей способностью использованного монохроматора. В зависимости от мощности накачки в спектре ФЛ наблюдали линии одиночного экситона ( $X$ ) ( $h\nu=1.558$ эВ), биэкситона ( $2X$ ), заряженного экситона ( $X^-$ ) и вышеупомянутой вертикальной квантовой проволоки. Статистика по 120 измеренным КТ показала, что основное состояние одиночного экситона ( $s$ -типа) в пирамидальной КТ имеет разброс (ПШПВ для гауссова пика) всего 7.6мэВ при энергии первого возбуждённого состояния ( $p$ -типа)  $\sim 55$ мэВ. Поэтому можно сказать, что в Лозанне готовы к серийному производству квантовых точек

С.Чикичев

1. *Appl. Phys. Lett.*, 2004, **84**(11), pp.1943-1945 (15 March)

## КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР

### Летящий кубит

За последние годы достигнут значительный прогресс в практической реализации операций с квантовыми битами (кубитами). Уже не таким далеким кажется тот день, когда заработает на полную мощь настоящий квантовый компьютер, который будет решать определенный класс задач экспоненциально быстрее своего классического предшественника. Наиболее перспективной физической системой для квантовых вычислений сейчас представляются контролируемые электрическим полем ионы в ловушке [1], в первую очередь благодаря очень большому времени сохранения когерентности. В прошлом году были продемонстрированы первые элементарные квантовые логические устройства на их основе [2,3]. В этих устройствах запутанные состояния, необходимые для обработки квантовой информации, формировались за счет электриче-

ского взаимодействия между ионами и были локализованы на масштабе нескольких микрон. Понятно, однако, что для организации связи между такими устройствами необходимо научиться передавать сведения о запутанных состояниях на гораздо более далекие расстояния. Понятно также, что идеальными “переносчиками запутанности” являются кванты света – фотоны. Понятно-то понятно, да только как это сделать на практике?

И вот очередной успех. Группа из *FOCUS Center, University of Michigan* (США) сообщила о создании запутанного состояния света и иона в ловушке [4]. Согласно закону сохранения момента импульса, если ион находится в состоянии  $|\downarrow\rangle$  (“спин вниз”), то испускаемый им фотон имеет поляризацию вдоль оси квантования (обозначим такое состояние фотона как  $|V\rangle$ ), а если ион находится в состоянии  $|\uparrow\rangle$  (“спин вверх”), то испускается фотон, поляризованный перпендикулярно оси квантования (состояние  $|H\rangle$ ). Поскольку кубит представляет собой суперпозицию состояний с разными направлениями спина,  $\alpha|\downarrow\rangle + \beta|\uparrow\rangle$ , то и фотон также оказывается в суперпозиционном состоянии, а точнее – состояние системы “ион+фотон” при этом является запутанным,  $\alpha|\downarrow\rangle|V\rangle + \beta|\uparrow\rangle|H\rangle$ , то есть “стационарный кубит” иона перепутывается с “летающим кубитом” фотона, который может перенести эту запутанность на большие расстояния.

В работе [4] использовался предварительно охлажденный лазером ион  $^{111}Cd^+$ , который переводился в возбужденное состояние с различными каналами распада. Испустив фотон, ион переходил либо в состояние  $|\downarrow\rangle$ , либо в состояние  $|\uparrow\rangle$ , либо, вообще говоря, в суперпозиционное состояние  $\alpha|\downarrow\rangle + \beta|\uparrow\rangle$ . Последующие измерения поляризации испущенного фотона и проекции спина оставшегося иона под-

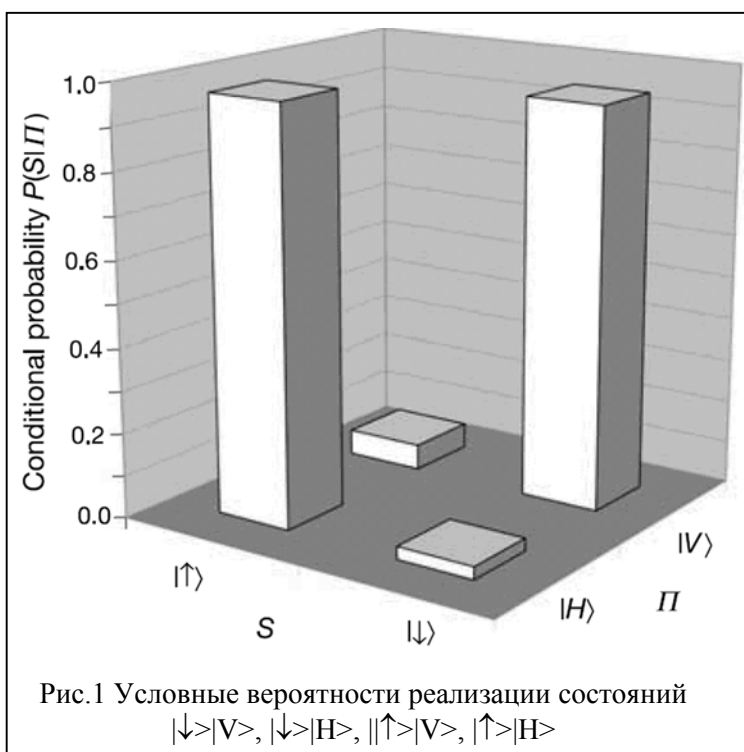


Рис.1 Условные вероятности реализации состояний  $|\downarrow\rangle|V\rangle$ ,  $|\downarrow\rangle|H\rangle$ ,  $|\uparrow\rangle|V\rangle$ ,  $|\uparrow\rangle|H\rangle$



твердили их запутанность: при поляризации фотона  $|V\rangle$  и  $|H\rangle$  спин иона оказывался направлен «вниз» или «вверх», соответственно (ось квантования задавалась внешним магнитным полем с  $B \approx 0.7\text{Гс}$ ). Условные вероятности регистрации различных состояний ионного кубита после измерения проекции спина фотона оказались равными  $P(\uparrow|H) = 0.97 \pm 0.01$ ;  $P(\downarrow|H) = 0.03 \pm 0.01$ ;  $P(\downarrow|V) = 0.94 \pm 0.01$ ;  $P(\uparrow|V) = 0.06 \pm 0.01$  (данные получены на основании около 1000 успешных измерений). Измерения, выполненные в других базисах, подтвердили факт запутанности (а не простой смеси) фотонных и ионных состояний.

В работе [4] также описана (но пока еще не реализована) методика приготовления запутанных состояний двух удаленных друг от друга кубитов. Для этого требуется одновременное измерение поляризаций двух фотонов, испущенных ионами. Хотя для использованной в [4] схемы скорость генерации оказывается очень низкой ( $\sim 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ ), ее можно повысить до  $\sim 10^3 \text{ с}^{-1}$  и даже  $\sim 10^6 \text{ с}^{-1}$  за счет использования более качественной оптики и более быстрых импульсов для возбуждения ионов.

Л.Опенев

По материалам заметки [5].

1. J.I.Cirac, P.Zoller, *Phys. Rev. Lett.*, 1995, 74, 4091
2. F.Schmidt-Kaler et al., *Nature*, 2003, 422, 408
3. D.Liebfried et al., *Nature*, 2003, 422, 412
4. B.B.Blinov et al., *Nature*, 2004, 428, 153
5. E.Polzik, *Nature*, 2004, 428, 129

## МАГНИТЫ

### О садах Сакуры, химических садах и магнитном поле

В марте в Японии уже цветут сады Сакуры. Но физики и химики увлечены своими садами - структурами, вырастающими в результате химических реакций и вполне похожими на экзотические растения (рис.1). Существуют, например, «силиконовые сады», которые получаются в жидком растворе хлорида кремния при добавлении воднорастворимых металлических солей. Подобные эксперимен-

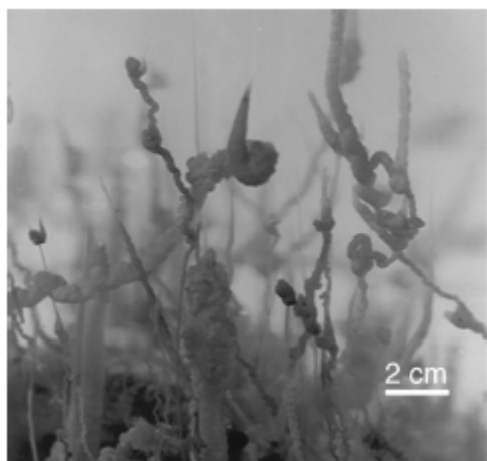


Рис. 1

ты долгое время служили для возбуждения интереса к химии среди детей и широкой публики. Первая печатная работа по поводу «химических садов» была сделана в 1684 г. тем самым Глаубером (Glauber), «глауберова соль» которого успешно используется в медицине.

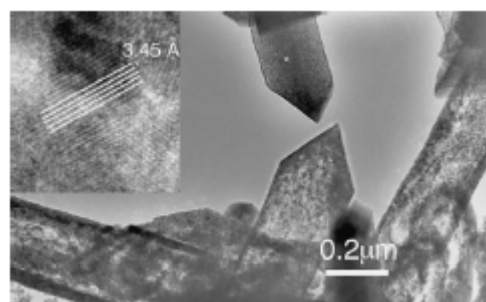


Рис. 2.

Поскольку «ветви» этих структур состоят из нано- и микрокристаллов [2] (рис.2), сегодня исследователи проявляют к ним повышенный интерес. Кроме того, сходство структур, получаемых искусственно, с теми, что наблюдаются в живых организмах, не случайно [3]. Именно оно привлекает интерес исследователей к выращиванию и исследованию этих дендридообразных сложных объектов.



0T straight



In a MF  
L-spiral

@outer surface



In a MF  
R-spiral  
@inner surface

Рис. 3.

В лаборатории проф. Y.Tanimoto (Institute for Molecular Sciences, Japan) показано, что рост химических садов в магнитном поле существенно изменяется. На рис.3. представлены для сравнения химические сады, полученные в магнитном поле сверхпроводящего магнита 15Тл и в его отсутствие при прочих равных условиях. Видно, что магнитное поле приводит к закручиванию выросших «деревьев». Это объясняется тем, что одним из движущих факторов роста «садов» является свободная кон-

векция заряженных ионов. Движение ионов в магнитном поле вызывает силу Лоренца, которая и приводит к закручиванию их траекторий и изменению формы выросших «деревьев».

*Р.Моргунов*

1. *Chem. Phys. Lett.* 1999, **306**, 145-148
2. *Chem. Phys. Lett.* 1998, **286**, 88-92
3. *J. Colloid Interface Sci.*, 2002, **256**, 351-359

## СНОВА К ОСНОВАМ

### *Новое в термолюминесценции и не только*

Приближающееся первое апреля располагает к более легкомысленному, чем обычно, отношению к действительности. Значит, это подходящее время для того, чтобы обратить внимание на статью о термолюминесценции [1], посланную с домашнего адреса в журнал, основным профилем которого является статистическая механика. Ох, не к добру это...

И точно. В статье автор приводит данные по термолюминесценции растворов солей – хлорида натрия и хлорида лития в тяжелой воде. Тяжелая вода при этом используется просто потому, что она, по сравнению с обычной  $H_2O$ , проявляет гораздо более интенсивное свечение. Эксперимент достаточно прост.

Раствор соли (или, в контрольном эксперименте,  $D_2O$  без растворенных солей) замораживается в жидком азоте и при этой температуре подвергается рентгеновскому облучению. Поглощение излучения приводит к появлению электронно-дырочных пар; причем, поскольку квант возбуждения достаточно энергичен, электроны и дырки до локализации успевают разойтись на достаточное расстояние. После получения дозы возбуждения образец отогревают, электроны и дырки приобретают подвижность, встречаются и рекомбинируют. Экспериментатор имеет возможность регистрировать спектр свечения и температуры, при которых свечение появляется и затухает.

Методика, надо сказать, известная, широко использовавшаяся в середине прошлого века в физике полупроводников, когда на повестке дня стояла идентификация уровней различных примесей и дефектов. Кстати, в обсуждаемом опыте высвечивание происходило при температурах, примерно на 100-150К ниже температуры плавления/отвердевания, так что растворы находились в твердом состоянии и аналогия с экспериментами в полупроводниках достаточно корректная. Зарегистрированные в опытах спектры состояли из двух полос, которые приписывают соответственно рекомбинации с участием внутримолекулярных связей воды и с участием межмолекулярных связей. Оказалось, что полосы, соответствующие рекомбинации с участием внутримолекулярных связей, ни на что не реагируют, а вот полосы, соответствующие участию межмолекулярных связей, четко различаются для

чистой  $D_2O$ , раствора  $LiCl$ , или раствора обычной поваренной соли  $NaCl$ . Эффект подтвержден несколькими различными способами регистрации – ФЭУ, CCD (приборы с зарядовой связью).

И ничего особенного в работе бы не было, если бы не совершенно крамольная степень разведения растворов –  $10^{-30}$  грамм/см<sup>3</sup>, или, для круглого счета, *одна миллионная доля атома на кубический сантиметр*. Надо полагать, понятно, откуда берутся идеи такого рода опытов. Параллельно с основным медицинским учением уже чуть дольше двухсот лет существует т.н. *гомеопатия*, имеющая своих сторонников (и еще больше – противников). Гомеопатия отступила, но сумела выстоять в жесткой борьбе с конкуренткой – *аллопатией* (так называется вся остальная общепринятая фармакология, за исключением откровенного шаманизма), за право не безвозмездно пользоваться пилюлями страждущих.

Оставляя в стороне медицинские и исторические аспекты взаимоотношений этих направлений, отметим лишь роль, которую в этих отношениях невольно сыграло развитие физики и химии. А сыграли физики и химики однозначно в пользу аллопатии, согласно которой, среди прочего, лекарства должно быть много. А гомеопаты предлагали своим пациентам лекарства в неправдоподобно малых концентрациях, порядка той, которая фигурировала в статье,  $10^{-30}$ (!). Это сейчас, в эпоху натуропатии и лекарствовофобии, мы могли бы задуматься и отдать предпочтение гомеопатам. А в эпоху торжества атомизма простой подсчет, что число атомов активного начала в дозе лекарства меньше единицы, являлся совершенно разгромным аргументом. Нет атомов – значит, нет ничего, в том числе нет и отличия гомеопатических лекарств от простой воды. А вот термолюминесценция показывает – атомов уже нет, а что-то еще – все еще есть.

Конечно, обсуждаемая работа не стала абсолютным открытием. То, что жидкости, и в том числе вода, обладают структурой, уже признано со времен работ Дж. Бернала – т.е. как минимум, около полувека. И, тем самым, возможность материальной “памяти” в растворителе уже не рассматривается как противоречие с атомной теорией. Обсуждаемая же работа [1] в этом смысле интересна тем, что методически, и по технике эксперимента, работа могла быть сделана многие десятилетия назад и явилась бы ясным аргументом против торопливых заявлений о лженаучности гомеопатии. Так что хорошо, что физика доросла до того, что может признавать некоторые свои ошибки. Вот только отмеченные выше обстоятельства опубликования статьи [1] свидетельствуют, что до сих пор признавать ошибки очень непросто.

*М.Компан*

1. *Rey L. Physica A.* 2003, **323**, p.67

## БОЛЬШИЕ ПРОЕКТЫ

### *Сверхпроводники в Центре перспективных энергетических систем США*

Энергетическая проблема становится все более острой и включает самые разные аспекты: новые источники энергии, резервное хранение энергии, стабильность линий электропередач, обслуживание электроэнергией критических производств, экологические аспекты. Развитые страны инвестируют в разработку новых источников энергии (водород, термоядерные реакторы) и новых энергетических систем все более крупные суммы. Формируется международное партнерство по исследованиям в области водородной энергетики, включающее уже 15 стран [1]. В ближайшие дни должен решиться вопрос о месте строительства самого крупного термоядерного реактора – прообраза термоядерной электростанции, создаваемого по международному проекту *ITER*. Термоядерная плазма в этом реакторе будет удерживаться гигантскими сверхпроводящими магнитами. Сверхпроводники могут раскрыть свой потенциал и при разработке других не менее важных для энергетики компонентов энергосистем – линий электропередач, накопителей электроэнергии, токоограничителей, трансформаторов, генераторов.

Сверхпроводящие индуктивные накопители (СПИН) позволяют запасать и сохранять электрическую энергию, улучшать качество энергии и повышать устойчивость электроэнергетической сети в целом, регулируя индуктивность энергосети. Возможно также использование индуктивных накопителей в качестве источников бесперебойного питания для критических производств. Ведутся разработки на базе как низко- так и высокотемпературных переохлажденных сверхпроводников. В США была выпущена малая серия микронакопителей, которые используются в ряде промышленных производств и энергосетях (Аляска).

В США при университете штата Флорида создан Центр перспективных энергетических систем (*CAPS* - Center for Advanced Power Systems) для проведения исследований в области энергетики и обучения студентов соответствующим специальностям [2]. Центр *CAPS* возник на основе Национальной лаборатории сильных магнитных полей (National High Magnetic Field Laboratory, *NFHM*). В настоящее время в городе Талахасси (штат Флорида) строятся новые здания для выполнения новой программы по созданию и испытанию сверхпроводящих устройств. Этот новый комплекс зданий будет иметь офисы, помещения для исследовательской и учебной работы, а также вместительное здание, связанное с подстанцией местной электрической компании. Эта связь позволит демонстрировать возможности новых сверхпроводящих энергетических устройств (СПИН, электрических машин, трансформаторов, линий электропередач) непосредственно в действующей энергосистеме.

*Перст, 2004, том 11, выпуск 6*

### Центр *CAPS*

- *предназначен* для разработки сверхпроводящих устройств, как для нужд ВМС США, так и для гражданской энергетики, тем самым имеется возможность получения финансирования технологий двойного назначения;
- *работает* в тесном сотрудничестве со специалистами мирового класса в области прикладной сверхпроводимости из расположенной рядом лаборатории *NFHM*;
- *обладает* всем необходимым оборудованием и приборами для проведения работ и пользуется самой широкой поддержкой местной электрической компании *Tallahassee Electric*;
- *имеет возможность* привлекать студентов из университета штата Флорида для выполнения различных проектов и участия в испытаниях прототипов новейших устройств.

Значительное место в работе Центра будет отведено прикладной сверхпроводимости - исследование свойств сверхпроводящих материалов, разработка и испытание сверхпроводящих энергетических устройств (сверхпроводящих кабелей, трансформаторов, электрических машин и накопителей электроэнергии). Толчком к развитию сверхпроводящей энергетики послужило создание современных систем микрокриогенных охладителей, которые не используют жидких хладагентов и просты в обслуживании.

Ближайшая цель *CAPS* – создание и испытание сверхпроводящих индуктивных накопителей энергии (СПИН, англ. - *SMES*). СПИН емкостью 100МДж создает компания *BWX Technologies*, а затем он будет включен в испытательную сеть *CAPS*. Обмотка СПИН'а изготовлена из заключенного в оболочку многожильного сверхпроводящего кабеля на основе сплава *NbTi*. Полностью система вместе с криостатом и силовым преобразователем будет включена в сеть *CAPS* в 2004 году. Компания *BWX Technologies* занималась разработкой СПИНов в течение последних 8 лет при финансовой поддержке DoE (Министерство энергетики США), привлекая результаты исследований, проводимых в *EPRI* (Electric Power Research Institute). СПИН предназначен для создания резервных мощностей и стабилизации условий передачи электроэнергии.

Важно, что в *CAPS* имеется возможность продемонстрировать работу сверхпроводящего накопителя непосредственно в действующей энергосистеме, повышая ее устойчивость и увеличивая количество передаваемой энергии.

В *CAPS* в дополнение к уже готовому испытательному стенду планируют построить целую сверхпроводящую подстанцию, где, в частности, будут установлены трансформаторы с обмотками из *ВТСП* кабелей.

## Основные параметры СПИН'а ф. *BWX Technologies*

Параметр	Значение
Номинальный ток А	4000
Запасенная энергия (при токе 4000А), МДж	86
Запасенная энергия (при токе 4300А), МДж	100
Тип обмотки	"галетная"
Число галет	88
Число витков на слой (галету)	20
Общее число витков	1760
Индуктивность, Гн	10,8
Максимальное поле при номинальном токе, Тл	4.03
Число СП-жил в кабеле	180
Номинальный критический ток СП-жилы (при 4.2К и 5Тл), А	129
Критическая плотность тока в жиле, А/мм <sup>2</sup>	2750
Расход гелия, г/сек	15

*Н.Балашов*

- <http://www.usea.org/DOE%20Hydrogen%20Roadmap.pdf>
- IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 2003, **13**(2)

## КОНФЕРЕНЦИИ

**1 - 8 мая 2004.** г. Сид (Анталия, Турция). Вторая научно-практическая конференция "Современные аспекты организации неразрушающего контроля качества продукции на промышленном предприятии".

Организаторы:

- Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики,
- НПФ «Диагностические приборы»,

3. НПФ "Ультракон".

В работе конференции предполагается участие представителей предприятий–производителей и поставщиков оборудования для неразрушающего контроля:

- Ультракон
- Диагностические приборы
- Машиностроение
- ИНТРОН-СЭТ
- Ассоциации "Тестрон"
- Россия, Балтех

Контакт:

Козин Александр Николаевич

E-mail: [kozin@ndt-ua.com](mailto:kozin@ndt-ua.com)

**31 мая – 4 июня 2004.** г. Ялта, Украина. 24 ежегодная международная научно-практическая конференция и блиц-выставка "Композиционные материалы в промышленности"

Контакт:

Главацкая Зоя Юрьевна

Тел/факс: (+38 044) 573 30 40 (с 8.00 до 14.00)

моб.тел.: 8-067-708-93-95

E-mail: [office@conference.kiev.ua](mailto:office@conference.kiev.ua)

[glavackaya@softhome.net](mailto:glavackaya@softhome.net)

[www.conference.kiev.ua](http://www.conference.kiev.ua)

**20–24 сентября 2004.** г. Ялта, Украина. Двенадцатая международная конференция и выставка "Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики"

Контакт:

Главацкая Зоя Юрьевна

Тел/факс: (+38 044) 573 30 40 (с 8.00 до 14.00)

моб.тел.: 8-067-708-93-95

E-mail: [office@conference.kiev.ua](mailto:office@conference.kiev.ua)

[glavackaya@softhome.net](mailto:glavackaya@softhome.net)

Экспресс-бюллетень "Перст" выходит при поддержке  
**Министерства промышленности, науки и технологий 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 33 89, e-mail: [perst@issph.kiae.ru](mailto:perst@issph.kiae.ru)

В подготовке выпуска принимали участие:

В.Вьюрков, М.Компан, Ю.Метлин, Р.Моргунов, Л.Опенев, С.Чикичев

Компьютерный ввод, макет: О.Хлыстунова

Тираж: Ю.Мухин

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64А