

В этом выпуске:

ПРОРЫВ

Шагаем к кремниевому лазеру...

Кремниевый источник когерентного оптического излучения (лазер или лазерный диод) пока остается мечтой ученых и инженеров. Первый, кому это удастся, впишет свое имя навечно в историю прогресса систем обработки данных (компьютеров) и телекоммуникаций. И, не в последнюю очередь, озолотит себя, свою фирму, подымет статус своей страны в самых высоких технологиях. Если удастся реализовать кремниевый лазер, тем самым будет осуществлен прорыв в создании устройств сверхбыстрой обработки информации, в том числе в рамках одной ИС, что повысит эффективность процессоров в десятки и даже сотни раз. Посему любая публикация на эту тему вызывает легкий трепет – неужели? А тут свои (опасаюсь теперь слова «наши»), и не в зарубежной публикации, а у себя в «Письма в ЖЭТФ» [1] – статья «Инверсная населенность уровней энергии ионов эрбия при передаче возбуждения от полупроводниковой матрицы в структурах на основе кремния/германия» (авторы - М. В. Степихова, Д. М. Жигунов, В. Г. Шенгуров, В. Ю. Тимошенко, Л. В. Красильникова, В. Ю. Чалков, С. П. Светлов, О. А. Шалыгина, П. К. Кашкаров, З. Ф. Красильник) с очевидной претензией на очередной шаг к кремний-германиевому лазеру.

Прокомментировать публикацию мы попросили одного из соавторов работы, д.ф.-м.н. Виктора Юрьевича Тимошенко.

Опубликованная работа является результатом совместных исследований научных групп ИФМ РАН, МГУ им. М. В. Ломоносова (физический факультет) и Нижегородского государственного университета. Мотивация работы связана с поиском путей для реализации лазерного эффекта в кремниевых структурах, совместимых со стандартной (планарной) полупроводниковой технологией микроэлектроники. Дело в том, что кремний, являющийся основным материалом микроэлектроники, до сих пор не стал таковым для лазерной физики и оптики (в части излучателей, так как эффективные кремниевые фотодетекторы выпускаются серийно). В течение последних десяти лет в ведущих лабораториях мира предпринимаются многочисленные попытки реализовать лазерный эффект в структурах на основе кремния. Информация о различных кремниевых излучателях уже не раз появлялась в печати. Пример – рамановский лазер, информация о котором была недавно и в Перст'е. Хотя сам по себе эффект – очень красивый, он является сугубо нелинейно-оптическим, и поэтому не может быть реализован при накачке электрическим током, а, следовательно, имеет не много шансов для практического применения.

В нашей работе сообщается о реализации необходимого условия лазерного эффекта в стандартных для современной микроэлектроники структурах – эпитаксиальных слоях кремний-германия $Si/SiGe:Er/Si$ (содержание Ge до 28%), выращенных на кремниевых подложках. В данных структурах, охлажденных до гелиевых температур, был надежно зарегистрирован переход в состояние

И далее ...

- | | |
|---|--|
| 3 | Дифракции наперекор |
| | СВЕРХПРОВОДНИКИ |
| 4 | Новый рекорд критической температуры в ВТСП |
| | НАНОСТРУКТУРЫ |
| 5 | Тёплый ИК-фотоприём |
| | ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ |
| 6 | Нанотрубные магнитные композиты очищают воду |
| 6 | Углеродные нанотрубки из травы! |
| | КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ |
| 7 | Всегда ли правило Ферми золотое? |
| | ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК |
| 7 | Погоня за звонкой монетой угрожает нанотехнологическим разработкам |
| 7 | Британец победил в охоте за оригиналом статьи о законе Мура |
| 8 | Страсти по <i>ITER</i> 'у |
| 8 | СЕГОДНЯШНИЕ РЕКОРДЫ |

инверсной населенности оптически активных центров – ионов эрбия Er^{3+} . Необходимо отметить, что ионы Er^{3+} представляют особый интерес в связи с тем, что они дают свечение на длине волны 1.5 мкм, т.е. в диапазоне минимальных потерь кварцевых оптоволоконных линий связи. Данное излучение также соответствует области прозрачности кремниевой матрицы. Таким образом, генерация излучения идет в самом оптимальном оптическом диапазоне. Накачка этих ионов пока осуществлена только оптически, хотя и через рождение фотовозбужденных носителей заряда (электронов и дырок) в полупроводниковой матрице. В то же время такие структуры вполне приспособлены для электрической накачки. В сходных структурах в ИФМ РАН реализовали электрический способ возбуждения ионов эрбия, хотя пока без инверсной населенности, но и это – на повестке дня. Итак, в структурах $Si/SiGe:Er/Si$ найдена очень эффективная инверсная населенность (перевод в возбужденное состояние до 80% оптически активных ионов), но пока нет генерации, очевидно потому, что в этих структурах достаточно велики потери. Следующий этап исследования, видимо, будет состоять в том, чтобы их минимизировать, сделать оптический резонатор и, наконец, наблюдать вожделенную генерацию.

На достижение каких параметров лазера Вы рассчитываете в перспективе?

Это – очень надежные, стабильные структуры, по крайней мере, для оптической накачки в импульсном режиме они держат мощности в сотни кВт. Мы предполагаем, что максимальные мощности генерируемого лазерного излучения будут не хуже, чем у полупроводниковых лазеров на основе материалов A^3B^5 , а необходимые плотности токов будут определяться потерями – чем сильнее удастся снизить потери, тем более низкие пороговые токи удастся реализовать. Весьма актуальной задачей является повышение рабочих температур с криогенных до комнатных.

Какие пути снижения потерь?

Потери можно снизить оптимизацией геометрии, состава и микроструктуры образцов, таким образом, чтобы рассеяние света на границах раздела было минимальным, а нежелательные процессы, связанные, например, с поглощением света на свободных носителях заряда, были подавлены. Можно сказать, что принципиальные вопросы, связанные с физикой процесса возбуждения ионов, решены – достигнута высокая инверсная населенность их состояний при накачке через электронное возбуждение полупроводниковой матрицы. Для реализации же лазерной генерации необходимо решить важные, но чисто инженерные и технические вопросы. Вероятность их решения – велика, проблема – во времени и средствах, выделяемых на эти цели.

Трудно сказать, как скоро это произойдет – требуется дальнейшее совершенствование технологии, переход на более протяженные волноводные схемы с увеличенной степенью интеграции на пластине. В обсуждаемой работе, использовали заключенный между кремниевыми слоями слой $SiGe:Er$, в котором (вследствие заметной доли Ge) имеет место волноводный эффект, но длина волновода была весьма ограничена ~10 мм. Дальнейшее совершенствование конструкции и технологии потребует и времени, и, естественно, финансовых вложений, в частности, в технологическое оборудование.

В научной печати проскакивают сообщения о раз-работке светодиодов на кремнии с электролюми-несценцией. Но в серии их нет?

Еще не решены, как минимум, две проблемы. Во-первых, эти диоды пока принципиально экспериментальные (идет процесс оптимизации конструкции, и пока он не закончится, нет смысла давать серию). Во-вторых, высокая эффективность их свечения достигается пока либо только при низкой температуре, либо при комнатной температуре, но в режиме обратного смещения при экстремальных, практически предпробойных, режимах эксплуатации. В то же время, на недавней конференции EMRS Spring Meeting 2005 в Страсбурге, где я участвовал, сообщалось о том, что как минимум две группы в мире уже планируют организацию коммерческого производства светодиодов на основе нанокристаллического кремния, легированного редкоземельными ионами (Eu^{3+} , Yb^{3+} , Er^{3+} и др.). В таких структурах достигается квантовый выход свечения 1-10%, но пока не решена проблема стабильности. В случае успеха будут предложены электролюминесцентные устройства, которые могли бы заменить различные индикаторные устройства, в которых сейчас используются A^3B^5 . Но лазер, а особенно, лазер, интегрированный в кремниевый чип – это совершенно другое. Лазер должен давать когерентное и хорошо направленное излучение на длине волны, которая не поглощается в подложке. Группа З.Ф. Красильника из Н.Новгорода развивает собственную идею создания лазера и собственную технологию. Время покажет, насколько конкурентно способно и то, и другое. Наша группа на физическом факультета МГУ надеется на продолжение весьма перспективных совместных работ с нижегородскими учеными и технологами.

Итак, что в итоге?

А итог весьма обнадеживает. В изготовленных в России кремниевых структурах впервые осуществлена исключительно эффективная накачка оптически активных ионов эрбия не напрямую светом (что сделано уже достаточно давно и хорошо известно – существуют мощные лазеры на оптоволокне с эрбием), а через электронное возбуждение полупроводниковой матрицы. Таким способом удалось пе-

ревести большую часть ионов в возбужденное состояние, т.е. достичь инверсной населенности в среде, что, как известно, является необходимым и основным условием для оптического усиления и лазерной генерации. В этом – главное достижение работы.

Конечно, пока нет лазерного эффекта, но можно надеяться, что сделан важный шаг к созданию кремниевого лазера.

1. Письма в ЖЭТФ 2005, **81** (10), 614

Дифракции наперекор

С середины 17 века, с той поры, как Гук с Левенгуком, отцы микроскопии, с упоением разглядывали первых микробов, извлеченных из-под собственных ногтей, микроскопия существенно повзрослела и превратилась из невинного развлечения в полноценный компонент нашей технической цивилизации. Начиная с анализов в поликлинике и до приложений в высоких технологиях, разнообразные приборы - световые, электронные, ультразвуковые, атомно-силовые, объединенные родовым именем *микроскопы*, поддерживают и развивают наши возможности видеть, понимать и работать в микромире. Тем не менее, почти фантастические возможности уже существующих микроскопов еще не предел. Как и многое другое, уровень возможностей микроскопии стал фактором научно-технологической гонки. Существование давно установленных дифракционных ограничений на разрешение, кажется, только подогревает эту гонку. Даже в такой классической области, как оптическая микроскопия, появляются новые, еще недавно совершенно немыслимые решения. Science [1,2] сообщает о демонстрации суперразрешения в ближне-ультрафиолетовом диапазоне с использованием идеологии материалов-левшей (left hand materials или *LHM*). (ПерсТ отслеживает эту тематику с момента ее реинкарнации в 2000 г.; недавняя публикация в ПерсТ'е [3] уже содержит необходимое вступление, ссылки и даже желательную для настоящей статьи иллюстрацию).

Возможность получения суперразрешения была предсказана физиком из J. Pendry (Imperial College, Лондон) [4]. Им были рассмотрены т.н. эванесцентные (экспоненциально затухающие моды) и предсказано, что плоские линзы из *LHM* могут усиливать и фокусировать такие типы колебаний. В частности, эванесцентными являются локальные моды электромагнитного поля, например, просачивающиеся в очень узкие отверстия в экранах. На расстояниях, больших длины волны, это поле «развернется» в обычную электромагнитную волну; детальный профиль, который имело поле сразу за экраном с отверстием, будет экспоненциально затухать с расстоянием. По предсказанию в [4], эванесцентные волны могут усиливаться плоскими слоями из *LHM* и даже фокусироваться ими. Обнаружение подобного эф-

фекта открыло бы не только новую эру в микроскопии, но и совершенно новые перспективы перед литографией высокого разрешения.

Однако обнаружение заманчивого эффекта (которое, забежим вперед, состоялось) – это только половина интриги. Вторая половина в том, что материалы-левши отсутствуют в природе, и долгое время их делали из проволочных элементов; в самое последнее время для этого использовали литографическую технику. Так или иначе, для реализации *LHM* создавали дискретные проводящие элементы специальной формы, которые во множестве и составляли среду с необходимыми свойствами. Однако искусственно созданная среда вела себя так, как предсказывала теория, лишь по отношению к излучению с длиной волны, много большей размеров отдельных элементов. Получался порочный круг – для повышения разрешения литографии нужны слои (линзы) из *LHM*, но сам *LHM* материал в состоянии фокусировать только излучение с длиной волны, большей того, что уже может литография.

Тем не менее, оказалось, что Природа не создает безвыходных тупиков, но, чтобы увидеть выход в этой ситуации, пришлось подключить знание физики. Вообще-то *LHM* материалы – это материалы, у которых должны быть отрицательными и магнитная, и диэлектрическая проницаемости. Однако в наномасштабах многое происходит иначе. При действии электромагнитного поля на объект с размерами, много меньшими длины волны, волновые свойства поля излучения малосущественны. В этом случае достаточно хорошим приближением является рассмотрение объекта в квазигоднородном поле, т.е. только в локальном электрическом поле световой волны. Поэтому, с учетом сказанного выше, для проявления свойств *LHM* в нанометровых масштабах ситуация упрощается: оказывается достаточным, чтобы отрицательной была только диэлектрическая проницаемость. А это уже гораздо проще – отрицательная ϵ реализуется в частотной области аномальной дисперсии, что не является особой экзотикой и может быть продемонстрировано для многих материалов.

В обсуждаемой работе суперразрешение было продемонстрировано с использованием самой обычной пленки серебра, которая в условиях эксперимента повела себя, как *LHM*. В работе исследовали разрешение, полученное на слое фоторезиста в ближней зоне (на расстоянии, существенно меньшем длины волны) при просвечивании непрозрачной маски с процарапанным изображением. В первом случае процарапанное на маске изображение проектировали на фоторезист, расположенный в 75нм от маски, а во втором между фоторезистом и маской дополнительно помещали 35нм слой серебра. Размеры щелей на маске и толщины линий изображений на фоторезисте определяли с помощью атомно-силового микроскопа.

Так вот – и это видно на приведенной фотографии из [1]: прослойка серебра между маской и фоторезистом позволяет сохранить на изображении (в середине) толщину линий, имеющуюся на исходной маске (верхнее изображение). Нижнее изображение получено при прямом проектировании маски на фоторезист на том же расстоянии, что и в эксперименте с пленкой серебра (75нм). Масштабный отрезок на всех трех изображениях – 2мкм. Авторы определяют достигнутое ими разрешение в 64нм. Это, конечно, хуже того, что ожидается от развития литографии в экстремальном ультрафиолете (EUV), но заметно лучше того, что удастся получить сегодня. А главное, разрешение существенно превосходит дифракционный предел.



Заметим – развитие физики материалов-левшей (LHM) происходит столь стремительно, что многие положения не успевают пройти неформальную, но очень важную стадию признания коллегами. Само предсказание суперразрешения сформулировано в 2000г. в терминах «может быть»; еще недавно публиковали достаточно аргументированные сомнения вообще в возможности реализации характерного поведения LHM. Можно вспомнить, что автор, который сейчас широко известен как «изобретатель» LHM – наш соотечественник В.Г.Веселаго (справедливости ради, в своей основополагающей статье, опубликованной в УФН, В.Г. ссылается на более раннюю работу И.Е.Тамма), полагал, что для воплощения этих материалов нужны ни много ни мало – магнитные монополи. И вот за несколько лет, на наших глазах (судя по иллюстрациям из Nature) свободная игра умов воплотилась в новый технологический прорыв.

Чудеса, да и только, но они случают-

ся. Еще недавно ПерсТ сообщал о получении латерального разрешения порядка 10нм в отечественных микроскопах типа МИМ [5], что тоже казалось чудом. Но то – чудеса вычислительные, которые лишь позволяли определить, что там такое в изображении было замыто дифракцией почти до неузнаваемости. В данной работе [1] удалось добиться реального разрешения при проектировании субмикронных масок, и это достижение совершенно иного калибра, которое грозит обернуться чудесами производственными.

И все таки: самое удивительное из чудес – это неисчерпаемость человеческой мысли. Можно ли было ожидать, что одновременно с тем, о чем рассказывалось здесь, будет придуман и опубликован еще один независимый способ получения субмикронного разрешения в оптическом микроскопе [6]? Проверьте себя – может быть, Вам тоже удастся придумать нечто подобное. И только потом загляните в ссылку [6].

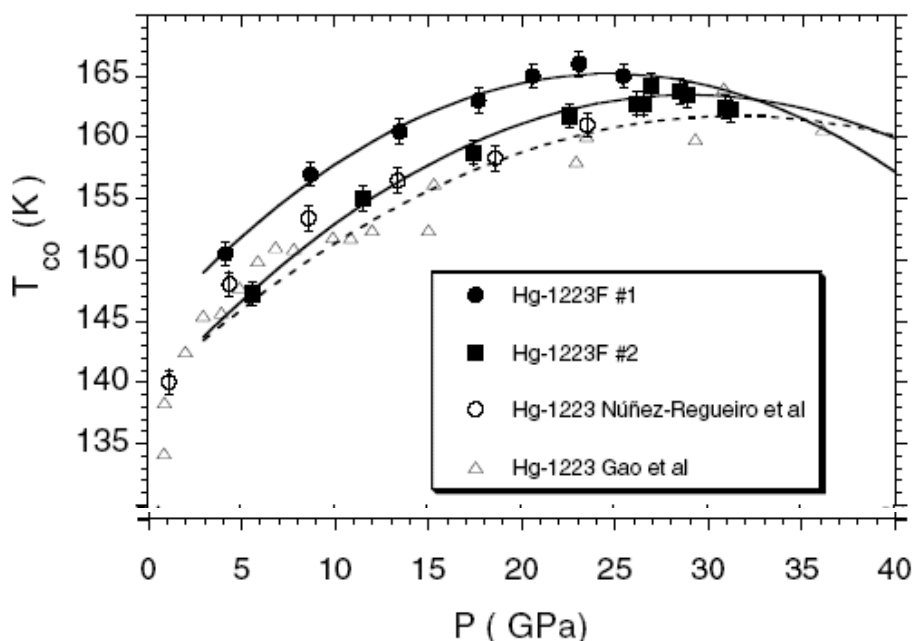
М.Компан

1. Nicolas Fang et. al., *Science* 2005, **308**, 534
2. D.R.Smith, *Science* 2005, **308**, 502
3. *ПерсТ*, 2005, **12**, вып.5
4. J.B.Pendry, *Phys.Rev.Lett.* 2000, **85**, 3966
5. *ПерсТ*, 2003, **10**, вып.3
6. V.Westphal, S.W.Hell, *Phys.Rev.Lett.* 2005, **94**, 143903

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Новый рекорд критической температуры в ВТСП

Исследования взаимосвязи структурных и сверхпроводящих характеристик купратных ВТСП уже давно привели к выводу, что максимальные величины критической температуры T_c достигаются в соединениях с тремя слоями CuO_2 в элементарной ячейке и с малым расстоянием $d_{\text{Cu-O}} = a/2$ между атомами меди и кислорода (a – период двумерной решетки в плоско-



сти CuO_2). Кроме того, концентрация дырок в слоях CuO_2 должна быть близка к оптимальной величине $n_0 = 0.16$ (в расчете на атом меди). Все эти условия реализуются в ртутном ВТСП Hg-1223 с добавкой фтора. При этом максимальная $T_c = 138\text{K}$ в образцах с $a = 0.38496\text{nm}$. Повысить T_c можно, приложив большое давление P . В работе российских (МГУ), французских и аргентинских специалистов [1] измерены зависимости $T_c(P)$ образцов Hg-1223/F с различным содержанием фтора и, соответственно, различной $T_c(P=0)$. Установлено, что T_c увеличивается с ростом P , достигает максимума и вновь уменьшается. Самая высокая $T_c = (166 \pm 1.5)\text{K}$ при $P = 23\text{ГПа}$ превышает величину T_c , достигнутую при сжатии фазы Hg-1223 без фтора и является, таким образом, рекордной на сегодняшний день. Ее дальнейшему росту препятствует, по-видимому, изгиб слоев CuO_2 при уменьшении a .

Степень легирования в обоих образцах близка к оптимальной ($n = 0.155$) с dT/dP 1.5K/ГПа .

Л.Опенев

1. *Physica C* 2004, **408-410**, 23

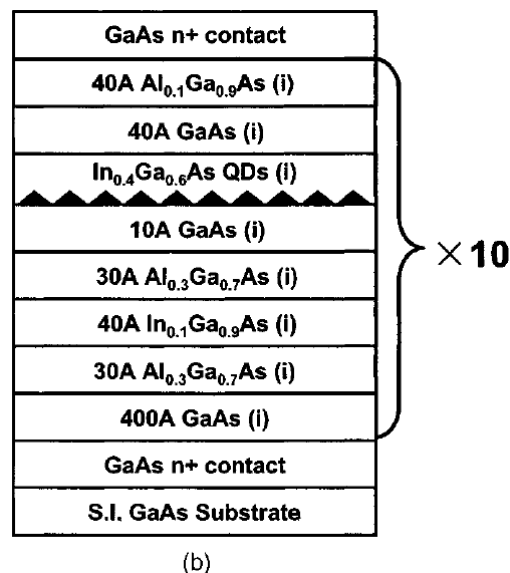
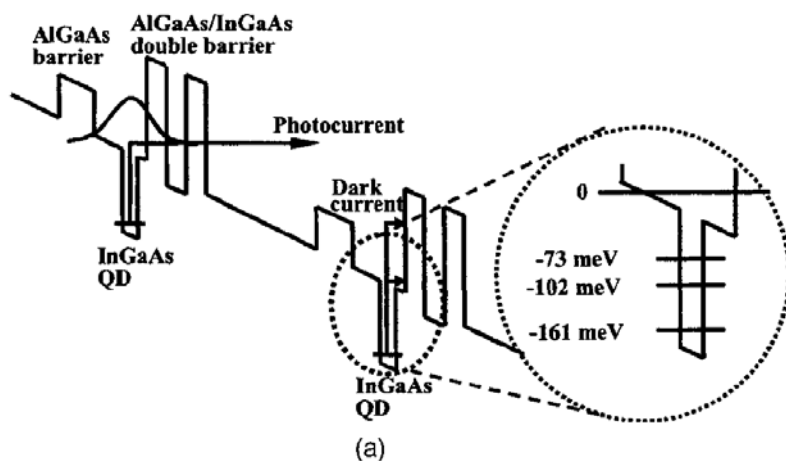
НАНОСТРУКТУРЫ

Тёплый ИК-фотоприём

В матричных фотоприёмниках большого формата уже давно и весьма успешно используют многослойные структуры с квантовыми ямами (КЯ) в системе AlGaAs/GaAs , выращенной методом молекулярно-лучевой [1] или МОС-гидридной [2] эпитаксии. Высочайший технологический уровень обеих технологий позволяет сегодня создавать на одном чипе $\sim 10^6$ фоточувствительных элементов с минимальным разбросом характеристик, что важно для формирования высококачественных ИК-изображений. Казалось бы, всё хорошо, но рабочая температура таких устройств не сильно отличается от 77K , а это – слишком холодно, т.е., хлопотно и дорого, и – что самое неприятное – резко сужает круг возможных потребителей-покупателей.

При более высоких температурах темновой ток просто «забывает» полезный фотосигнал. Кроме того, при нормальном падении на КЯ электроны не поглощают ИК-фотоны (дырки – могут, но они обычно тяжелее и фототок от них – меньше). Если заменить квантовую яму слоем квантовых точек (КТ), проблема с нормальным падением исчезает, поскольку искусственные атомы (КТ) способны поглощать фотон с любой поляризацией, да и живут «фотоподкинутые» на возбуждённый уровень электроны дольше, чем в КЯ, поскольку в КТ трудно найти подходящий фонон, который поможет электрону упасть на дно. Поэтому многослойные структуры с квантовыми точками (МККТ) уже лет 6-7 являются предметом пристального внимания и стахановских усилий всех, кто работает на «инфракрасные глаза», включая US Army, Navy, Air Force, NASA [3]. Эти организации щедро финансируют разработки фотоприёмников, не требующих для работы жидкого азота.

Недавно группа американских физиков из университетов Мичигана и Джорджии продемонстрировала возможность создания такого приемника [4]. Для этого «просто» сбоку (допустим, справа, если под действием приложенного смещения электроны должны лететь направо) от каждого слоя КТ (из InGaAs) сделать двухбарьерную структуру (из $\text{AlGaAs/GaAs/AlGaAs}$) в качестве резонансно-туннельного фильтра (см. рис.), который селективно превращает фотовозбуждённые электроны в полезный сигнал, а неорганизованные «тепловые» электроны отсекает напрочь. Если, плюс к тому, слева от слоя КТ сформировать туннельно-непрозрачный барьер из AlGaAs (т.е. поместить слой КТ в КЯ с глухим барьером слева и резонансным фильтром справа), то можно даже осуществить тонкую подстройку фотоотклика для нужной длины волны. При этом фотоприёмник становится ещё и двухцветным за счёт квантово-механического расщепления основного уровня в туннельно-связанных КЯ.



Такой нетривиальный квантовый дизайн был успешно реализован «в железе» [4], в результате чего возник двухцветный (6 и 17мкм) ИК-МСКТ-фотоприёмник, работоспособный при комнатной температуре (ибо темновые токи уменьшились в 100 раз!), у которого вольт-ваттная чувствительность ($\lambda=17\text{мкм}$) при 300К составила 0.16А/Вт при смещении 2В, а максимальная удельная обнаружительная способность оказалась равной $1.5 \times 10^7 \text{ см}^2/\text{Вт}$ (280К, смещение 1В).

Ничего подобного пока подлунный мир не видел.

С.Чикичев

1. А.И.Торопов, В.В.Шашкин, в кн.: *Нанотехнологии в полупроводниковой электронике*. Новосибирск, Изд. СО РАН, 2004, с.252-272.
2. А.А.Мармалюк, А.А.Падалица, Д.Б.Никитин, П.В.Булаев, И.В.Будкин, И.Д.Залевский, М.В.Коваленко, *Фотоника-2003*, ИФП СО РАН, Тезисы докладов, с.21.
3. S.Chakrabarti, A.D.Stiff-Roberts, P.Bhattacharya, S.Gunapala, S.Bandara, S.B.Rafol, S.W.Kennerly, *IEEE Photonics Technology Lett.*, 2004, **16**, p.1361
4. P.Bhattacharya, X.H.Su, S.Chakrabarti, G.Ariyawansa, A.G.U.Perera, *Appl.Phys.Lett.*, 2005, **86**, 191106

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Нанотрубные магнитные композиты очищают воду

Углеродные нанотрубки (УНТ), обладающие высокой удельной поверхностью, эффективны в системах очистки воды от различных примесей, включая диоксины [1], свинец [2], фтор [3]. Авторы работы [4] использовали магнитные композиты на основе углеродных нанотрубок и оксидов железа для удаления из воды примесей $Pb(II)$ и $Cu(II)$.

УНТ синтезировали методом каталитического пиролиза смеси $C_3H_6:H_2=2:1$ при 750°C с использованием частиц Ni в качестве катализатора. Удельная поверхность полученных УНТ составляла $134\text{м}^2/\text{г}$. Затем УНТ очищали от частиц катализатора и окисляли обработкой в кислотах. Для получения магнитных композитов при 70°C в атмосфере азота была приготовлена суспензия из 1.0г УНТ в 300мл раствора, содержащего $0.585\text{г } FeCl_3 \cdot 6H_2O$ и $0.390\text{г } FeSO_4 \cdot 6H_2O$. Для осаждения оксидов железа добавляли 18.7мл $NaOH$ (0.5моль/л). Полученную смесь промывали, сушили и размельчали на частицы размером менее 0.075мм . Сорбционная емкость УНТ по отношению к тяжелым металлам значительно увеличивается после окисления. Функциональные группы, содержащие кислород, являются эффективными центрами сорбции, а в составе магнитных композитов они, кроме того, способствуют адгезии частиц оксидов металлов к стенкам трубок.

Тестирование синтезированного композита показало, что материал притягивается магнитом. На рентгеновской дифрактограмме видны как пики, соответствующие УНТ, так и пики оксидов железа (в основном магнитная фаза Fe_3O_4). Исследование полученного материала методом *SEM* показало равномерное распределение агломератов оксидов железа в материале, что указывает на образование композитов УНТ-оксиды железа.

Эксперименты по изучению сорбции проводили в стеклянной колбе, в которую к 50мл раствора, содержащего $Pb(II)$ или $Cu(II)$, добавляли 0.03г адсорбента. Остаточную концентрацию $Pb(II)$ или $Cu(II)$ определяли после извлечения адсорбента с помощью постоянного магнита $Nd-Fe-B$.

Максимальная сорбционная емкость, определенная с помощью изотерм адсорбции $Pb(II)$ и $Cu(II)$, составляет 0.51 и 0.71ммоль/г, соответственно ($pH = 5.0$, $T = 20^\circ\text{C}$).

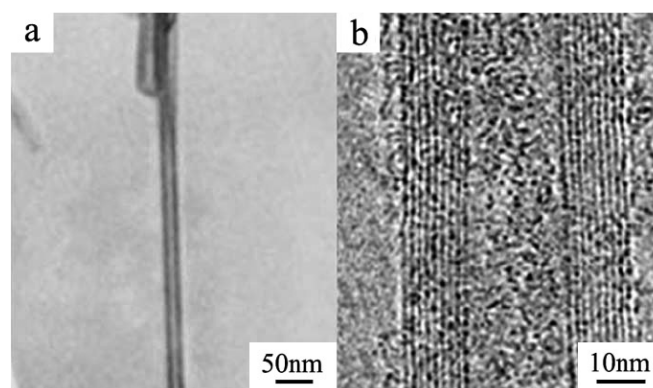
После адсорбции адсорбент сохраняет магнитные свойства - процесс магнитной сепарации с помощью постоянного магнита позволяет легко выделять адсорбент из воды, при этом достигается степень регенерации более 98%.

Таким образом, синтезированные композиты могут быть использованы для поглощения загрязнений из воды с последующим выделением адсорбента с помощью магнитных процессов. Такие композиты на основе УНТ получены впервые.

О.Алексеева

1. *ПерсТ* 2002, **9**, вып.8, с.4
2. *ПерсТ* 2002, **9**, вып.18, с.6
3. *ПерсТ* 2002, **9**, вып.3, с.3
4. *Carbon* 2005, **43**, 880

Углеродные нанотрубки из травы!



Широкому распространению прикладных технологий, основанных на использовании углеродных нанотрубок (УНТ), препятствует высокая стоимость их производства, что, в свою очередь, обусловлено техническими трудностями традиционных методов синтеза УНТ: термическое распыление графита в дуговом разряде или при лазерном облучении, термокаталитическое разложение газообразных угле-

водородов. В связи с этим развиваются новые подходы к получению УНТ, которые с годами становятся все более экзотичными: сфокусированное солнечное облучение, дуговой разряд с графитовыми электродами, погруженными в жидкий азот.

Недавно список экзотичных подходов пополнился выполненной в одном из китайских университетов (Northeast Normal University) разработкой [1], авторы которой обнаружили, что УНТ образуются при термообработке обычной травы в присутствии кислорода. 3–5 г травы, срезанной на ближайшем поле, просушили, измельчили и нагрели в течение 1 часа при 250°C. Затем полученный образец промыли в спирте и воде, быстро нагревали до 600°C и выдерживали при этой температуре в течение 20 мин. в запаянном сосуде в присутствии некоторого количества кислорода. Процедуру многократно (до 50 раз) повторили. Результат - образование многослойных нанотрубок с выходом ~15%. Как показывают наблюдения в просвечивающем электронном микроскопе, наружный диаметр УНТ находится в диапазоне 30 – 50 нм, а внутренний варьируется между 10 и 30 нм. Тем самым, нанотрубки обладают внутренней полостью диаметром свыше 10 нм. Расстояние между соседними слоями в нанотрубках составляет 0.34 нм, присущее многослойным графитовым структурам.

Авторы предлагают следующий механизм образования УНТ из травы: целлюлоза, составляющая основу трав, в процессе термообработки освобождается от молекул воды и радикалов гидроксидов, что приводит к сжатию трубчатых структур и образованию двойных C-C связей.

А.В.Елецкий

1. *Nanotechnology* 2005, **16** 1192

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Всегда ли правило Ферми золотое?

Полезно время от времени подвергать сомнению даже общеизвестные истины, например, золотое правило Ферми, определяющее вероятности оптических переходов, которым пользуются постоянно и повсеместно. Обратив внимание на работу Леонида Федичкина (Clarkson University, США) [1], посвященную последовательному квантовомеханическому рассмотрению декогеренции и демонстрирующую явное расхождение с общепринятым правилом Ферми, другой Леонид - Опен (МИФИ) [2] обратился к исходному выводу этого правила, который содержится во всех учебниках по квантовой механике - δ -функция в золотом правиле возникает только по истечении достаточно большого времени с начала процесса. Она, фактически, выражает закон сохранения энергии. Напомним, что сама энергия в квантовой механике является определенной величиной только по прошествии, строго говоря, бесконечного времени. На малых временах вероятность перехода системы из одного состояния в другое ведет себя более хитро. Согласно

интерпретации Л.Опена на малых временах вклад в эту вероятность дают не только резонансные процессы, которые учитывает δ -функция, но и нерезонансные, вклад которых с течением времени ослабляется. Л.Федичкин использовал другую интерпретацию. По его мнению, на малых отрезках времени система сохраняет корреляцию, т.е. память, с течением времени корреляция пропадает, тогда и возникает δ -функция, описывающая необратимые переходы. Проблема малых времен (а точнее, малых вероятностей переходов) особо остро проявилась в области квантовых компьютеров, которые вообще могут работать только при слабой декогерентизации. Как выяснилось, использование золотого правила Ферми при рассмотрении декогеренции в таких системах, может привести к совершенно неверным результатам. «Исправленное» золотое правило применено упомянутыми авторами к расчету процессов декогеренции зарядового кубита в фоновом резервуаре.

В.Вьюрков

1. *Phys. Rev. A*, 2004, **69**, 032311
2. *ЖЭТФ*, 2005, **127**, 973

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Погоня за звонкой монетой угрожает нанотехнологическим разработкам

Аналитики США предостерегают, что в сфере патентования симптом «золотой лихорадки» может сдерживать разработки в сфере нанотехнологии. Нью-Йоркское консалтинговое агентство Lux Research проанализировало 1084 патента по нанотехнологии, треть из которых зарегистрирована за пределами США. Патенты, относящиеся к пяти различным материалам, в которые входят углеродные нанотрубки и нанонити, часто перекрываются и оставляют мало шансов для новых утверждений. Опубликованный недавно отчет агентства поясняет, что широкие перекрывающиеся заявления могут отклоняться экспертами, как случилось в свое время с многочисленными патентами по биотехнологии. Нанотехнологические компании должны быть более тщательны при формулировке заявляемых позиций, более точно определяя содержание заявки, при этом патентуя все, что возможно. В то время, как судебные тяжбы неизбежны, владельцы патентов будут иметь защитные средства, исключаящие саморазрушительную войну за интеллектуальную собственность.

1. *Nature*, 2005, **435**, 9

Британец победил в охоте за оригиналом статьи о законе Мура

Кто сказал, что бумага умерла? Сорок лет назад в журнале «Electronics» Гордон Мур сделал свое знаменитое предсказание, утверждающее, что число транзисторов в ИС каждый год будет удваиваться. Чтобы отметить это событие, ф. Intel, не довольствуясь электронной версией, заплатила 10 тыс. долл. за типографский выпуск журнала от 15 апреля 1965

года. Как только 11 апреля было объявлено о премии, том журнала с призовым выпуском был украден из Грейнджеровской технической библиотеки университета штата Иллинойс, несмотря на предупреждение Intel, что к участию не допускаются копии из библиотек. Несколько университетов немедленно заблокировали свои фонды. В конце концов Intel купила выпуск у Давида Кларка, британского инженера, сохранившего старые выпуски журнала.

Вот такой «bargain basement» - «уцененный» товар с первого этажа универмага....

1. *Nature*, 2005, **434**, p.1061, 28 April

Страсти по ITER'у

Министерство энергетики США (DOE) ведет непрерывную борьбу с Конгрессом по вопросу о финансировании доли США в разработке международного термоядерного реактора (проект ITER). Некоторые ключевые члены Конгресса хотят сделать проект заложником планов Белого Дома совместить финансирование ITER'а и национальных исследований в области термояда. Хотя в бюджете, предложенном Белым Домом, финансирование термоядерных разработок увеличивается на 17% (до 291 млн. долл.), но предстоит выемка из него обещанных миллионов долларов на рождающийся ITER. Расходы на термояд входят в 3.7 млрд. долл., выделяемые Министерством энергетики на научные исследования.

В настоящее время термоядерные установки в Бостоне, Сан Диего, Калифорнии и Принстоне, используемые для удержания плазмы хорошо разработанные установки типа токамак (аналогично ITER'у), могут потребовать две трети от соответствующего бюджета в ущерб другим способам удержания плазмы. Официальные представители Министерства энергетики готовы пойти на снижение финансирования национальных программ в угоду ITER'у. Хотя США должны внести в строительство ITER'а только 10% пай (основную часть расходов берет на себя Франция, на территории которой будет размещен реактор), все же члены Конгресса чувствуют некий тактический дискомфорт, уменьшая на эту сумму вклад в собственные национальные исследования. Не исключена ситуация, что США снова по-

кинут ITER, как они поступили в 1997 году, в течение 6-ти лет не участвуя в проекте и снова вернувшись к нему в 2003 году. «Для нас важно участвовать в проекте, но не ценой снижения национальных исследований. Смогут ли ученые США использовать ITER, если правительство откажется от помощи в его строительстве?» - заявил Stephen Dean из Ассоциации термоядерной энергии США, и добавил - «Так или иначе, но мы будем участвовать!» В настоящее время дебаты перемещаются в Сенат.

1. *Science*, 2005, **308**, 1395

СЕГОДНЯШНИЕ РЕКОРДЫ

Максимальная критическая температура в сверхпроводниках

$T_c = (166 \pm 1.5) \text{K}$ при давлении $P = 23 \text{ ГПа}$ в соединении Hg-1223/F

Авторы

M.Monteverde, M.Nunez-Regueiro - Centre de Recherches sur les Tres Basses Temperatures, C.N.R., Grenoble, Франция
C.Acha - Ciudad Universitaria, Buenos Aires, Аргентина
К.А.Локшин, Д.А.Павлов, С.Н.Путилин,
Е.В.Антипов - химический факультет МГУ, Россия
Источник Physica C 2004, **408-410**, p. 23

Максимальная чувствительность ИК приемника при комнатной температуре для $\lambda = 17 \text{ мкм}$

ИК туннельный фотодетектор со слоем квантовых точек из InGaAs в многослойной $\text{AlGaAs/GaAs/AlGaAs}$ гетероструктуре.

Вольт-ваттная чувствительность 0.16 А/Вт (при смещении 2В), $T = 300 \text{ K}$

Максимальная удельная обнаружительная способность $1.5 \times 10^7 \text{ см}^2 \text{ Гц}^{1/2} / \text{Вт}$ (при смещении 1В), $T = 280 \text{ K}$

Экстремально низкая плотность темнового тока - 1.55 А/см^2 (при смещении 1В), $T = 300 \text{ K}$

Авторы

P.Bhattacharya, X.H.Su, and S.Chakrabarti - University of Michigan, Ann Arbor, США

G.Ariyawansa and A.G.U.Perera - Georgia State University, Atlanta, США

Источник Appl. Phys. Lett. 2005, **86**, 191106

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 нанoeлектроники”, “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, М.Компан, Ю.Метлин, Л.Опенков С.Чикичев

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Ответственный за тираж: Ю.Мухин

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