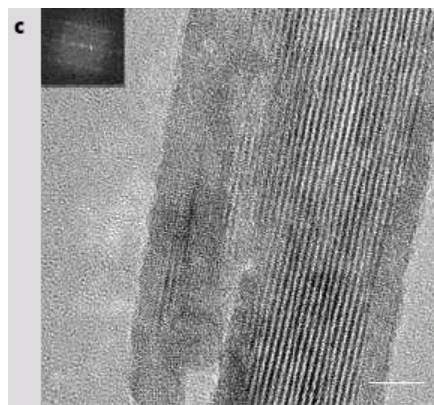


В этом выпуске:

НЕОЖИДАННОСТИ

*Дамасская сталь XVI века содержит ...
углеродные нанотрубки*



Секреты изготовления дамасской стали, из которой средневековые кузнецы ковали непревзойденное по прочности холодное оружие, до сих пор не разгаданы. Видимо, это связано с отсутствием необходимой аппаратуры, позволяющей определить одновременно не только химический состав, но и форму, и кристаллическую структуру элементов, входящих в ее состав. Современная

электронная микроскопия позволила это сделать, и результат оказался поистине сенсационным.

Сотрудники Technische Univ. Dresden (Германия) исследовали образец дамасской стали, из которой в XVI веке была изготовлена сабля, хранящаяся в Историческом музее г. Берна (Швейцария). После растворения металлов, входящих в состав образца, в соляной кислоте исследователи обнаружили тонкие протяженные объекты нанометровых поперечных размеров. При детальном изучении в просвечивающем электронном микроскопе высокого разрешения оказалось, что это... многослойные углеродные нанотрубки, к тому же заполненными цементитом (карбидом железа Fe_3C)!!! Расстояние между слоями в нанотрубках близко к типичной для таких систем величине 0.34 нм.

Поскольку нанотрубки обладают рекордной прочностью на растяжение (величина модуля Юнга $\sim$ терапаскалей, 10^{12} Па), вряд ли приходится удивляться тому, что нанотрубки придают стали повышенные прочностные свойства. Удивления, однако, достойна изобретательность средневековых кузнецов, которые, не имея представления ни о структуре, ни о способах получения нанотрубок, сумели эмпирическим путем получить содержащий их конструкционный материал, отличающийся исключительными механическими характеристиками.

Процедура изготовления дамасской стали осталась тайной на века. Представляется вероятным, что в настоящее время, когда таинственный состав дамасской стали предан гласности, средневековая процедура, наконец, будет в ближайшее время воспроизведена в одной из лабораторий. Дискуссию по этому вопросу смотрите на сайте <http://newparadigma.ru/engines/NPforum/read.aspx?m=130661>

А.В.Елецкий

1. M.Reibold et al. *Nature* **444**, 286 (2006)

И далее ...

АТОМНЫЕ КЛАСТЕРЫ И НАНОТРУБКИ

- 2 Структура твердого кислорода
Квантовая емкость углеродных нанотрубок
- 3 Высокий лес двухслойных нанотрубок заданного диаметра
- 4 Полевая эмиссия электронов отдельной нанотрубкой
Будем ли хранить водород в нанотрубках...

НАНОСТРУКТУРЫ

- 5 Нанохимия
Взаимодействие электронов с магнитными атомами в квантовой точке

СПИНТРОНИКА

- 6 Полуметаллические наноленты из графена
Спонтанное нарушение симметрии в спинорном бозе-эйнштейновском конденсате

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 7 Квантовая телепортация двухкубитных систем

НИТРИДНЫЕ НОВОСТИ

- 7 Транзисторы с высокой подвижностью электронов на основе $AlGaN$ с GaN спейсером

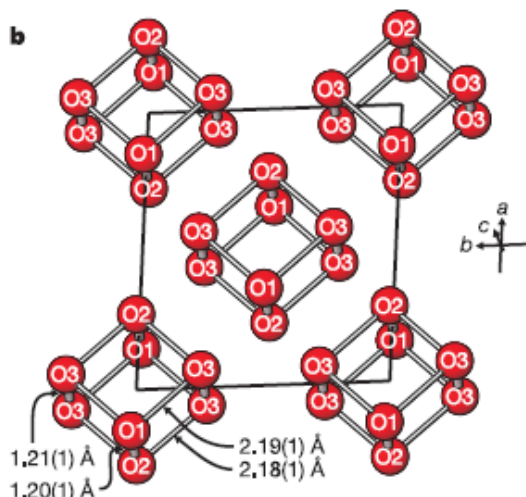
ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

- 8 Катастрофа в Германии не останавливает японский маглев
- 9 Ученые получили первые дивиденды от ITER

10 КОНФЕРЕНЦИИ

АТОМНЫЕ КЛАСТЕРЫ И НАНОТРУБКИ

Структура твердого кислорода



Единственной двухатомной молекулой, которая в основном состоянии обладает магнитным моментом, является молекула кислорода O_2 . Поэтому твердый кислород, образующийся при больших давлениях, обладает рядом необычных магнитных свойств [1]. Он интересен еще и тем, что с ростом давления переходит из диэлектрического состояния в металлическое [2], а при низких температурах становится сверхпроводником ($P=100$ ГПа, $T_c=0.6$ К) [3]. К настоящему времени известно шесть различных кристаллических модификаций твердого кислорода, в том числе и так называемая ε -фаза, существующая в широком диапазоне давлений, очень сильно поглощающая ИК излучение и отличающаяся темно-красным цветом. Установлено, что она имеет моноклинную симметрию, а молекулы O_2 в ней объединены в большие группы. Но определить точную структуру этой фазы долго не удавалось. Недавно две группы исследователей (одна - из Univ. Edinburgh, Великобритания; Département de Physique CEA, Франция и Univ. Ottawa, Канада и другая - японская группа из Natl. Inst. Advanced Ind. Sci. & Techn., Univ. Hyogo, и Japan Synchrotron Rad. Res. Inst. [4,5]) независимо друг от друга показали, что в ε -фазе сильное взаимодействие между молекулами O_2 приводит к формированию кластеров O_8 , которые, периодически повторяясь в пространстве, и образуют кристаллическую решетку (см. рис.).

Этот результат получен при исследовании рассеяния рентгеновских лучей на монокристаллах [4] и поликристаллических образцах [5] ε -фазы. Расстояние между молекулами O_2 в кластерах O_8 составляет 0.218 нм, а между кластерами – 0.256 нм. Любопытно, что расчеты из первых принципов свидетельствуют об энергетической невыгодности такой структуры по сравнению с так называемой цепочечной структурой, в которой молекулы O_2 образуют квазиодномерные цепочки. Повидимому, это связано с недостаточной точностью

современных методов расчета *ab initio*. Полученные в [4,5] результаты представляют большой интерес еще и в свете недавних сообщений об экспериментальном обнаружении немолекулярных форм азота и водорода.

Л.Опенков

1. I.N.Goncharenko et al., *Phys. Rev. Lett.* **93**, 055502 (2004)
2. S.Desgreniers et al., *J. Phys. Chem.* **94**, 1117 (1990)
3. K.Shimizu et al., *Nature* **393**, 767 (1998)
4. L.F.Lundegaard et al., *Nature* **443**, 201 (2006)
5. H.Fujihisa et al., *Phys. Rev. Lett.* **97**, 085503 (2006)

Квантовая емкость углеродных нанотрубок

Электрическая емкость твердотельных систем – физическая величина, содержащая фундаментальную информацию о характеристиках основного состояния. Она включает в себя как электростатическую компоненту, обусловленную межэлектронными взаимодействиями, так и кинетическую часть, которая определяется видом электронной плотности состояний. В работе [1] впервые непосредственно измерили емкость изолированных углеродных нанотрубок и нашли ее зависимость от концентрации носителей заряда. Эта зависимость отражает электрон-дырочную симметрию спектра элементарных возбуждений нанотрубок. На ней имеются особенности, связанные с ванховскими особенностями плотности состояний квазиодномерных электронных и дырочных подзон. Авторы замечают, что емкость может быть и отрицательной – в соответствии с теоретическими предсказаниями для одномерных систем.

1. S.Ilani et al., *Nature Phys.* **2**, 687 (2006)

Высокий лес двухслойных нанотрубок заданного диаметра

Не вызывают сомнений перспективы использования углеродных нанотрубок (УНТ) в электронике, электрохимии, для создания новых сверхпрочных материалов. Проблема - в разработке сравнительно недорогих и высокоэффективных технологий получения УНТ с заданными характеристиками и в больших количествах. Усилия разработчиков сосредоточены на методе химического осаждения паров (CVD), основанном на термическом разложении углеродосодержащих газов на поверхности металлического катализатора. Катализатором процесса используют наночастицы таких металлов, как железо, никель, кобальт. В результате получают «лес» вертикально ориентированных многослойных нанотрубок, разброс диаметров которых соответствует разбросу размеров частиц металлического катализатора. Попытки уменьшить этот разброс наталкиваются на технологические трудности получения металлических частиц одинаковых размеров.

Недавно группа японских исследователей во главе с первооткрывателем нанотрубок С.Иджимой нашла способ преодоления указанных трудностей. Способ основан на обнаруженной авторами связи между толщиной металлической пленки, используемой в качестве катализатора, и средним диаметром синтезируемых нанотрубок. Тем самым возникает возможность получать нанотрубки требуемого диаметра просто в результате изменения толщины металлической пленки. В эксперименте при выращивании УНТ использовали 11 пленок железа различной толщины в диапазоне от 0.8 до 1.9 нм.

Пленки железа напыляли на кремниевую подложку размером 20x20 мм², покрытую слоем Al_2O_3 толщиной 30 нм. В результате нагрева однородная металлическая пленка превращается в слой упорядоченных частиц железа, размер которых соответствует толщине пленки. Таким образом формируются однородные по размеру частицы катализатора. В качестве источника углерода использовали этилен, прокачиваемый через реактор при температуре 750°C со скоростью 10–150 см³/мин. Для повышения срока службы и эффективности катализатора к этилену добавляли небольшое количество паров воды (от 0.002 до 0.05%). Синтез УНТ производили в течение 10–30 мин.

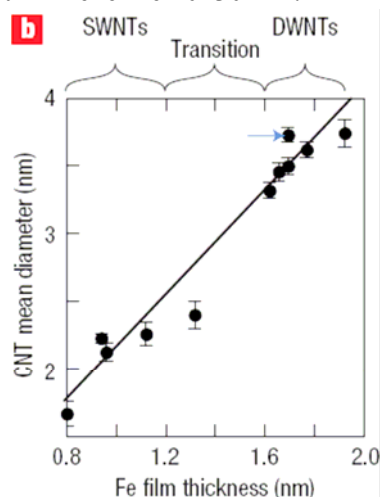


Рис. 1.

Зависимость среднего диаметра синтезированных УНТ от толщины пленки представлена на рис.1. Измерения выполнены с помощью просвечивающего электронного микроскопа высокого разрешения. В общей сложности проанализировано 1432 индивидуальных однослойных, двухслойных и многослойных нанотрубок диаметром от 1.0 до 5.0 нм. Как видно, представленная на рисунке зависимость близка к линейной, что подтверждает возможность получения УНТ заданного диаметра выбором нужной толщины пленки катализатора. Три области изменения толщины пленки, отмеченные на рисунке фигурными скобками, соответствуют преобладанию однослойных УНТ (левая область), комбинации однослойных и двухслойных УНТ (центральная область) и преобладанию двухслойных УНТ определенного диаметра (правая об-

ласть). Стрелкой показана точка максимального относительного выхода двухслойных УНТ.

Степень разброса УНТ по диаметрам показана на рис. 2. Красным цветом на гистограммах показаны однослойные нанотрубки, синим – двухслойные и зеленым – многослойные УНТ. Как видно, изменение толщины пленки катализатора приводит не только к пропорциональному изменению среднего диаметра нанотрубок, но и к изменению характера распределения нанотрубок по диаметру. Это обусловлено изменением состава синтезируемых нанотрубок с ростом толщины пленки. Максимальный выход двухслойных УНТ наблюдается при толщине пленки катализатора 1.69 нм и составляет ~ 85%.

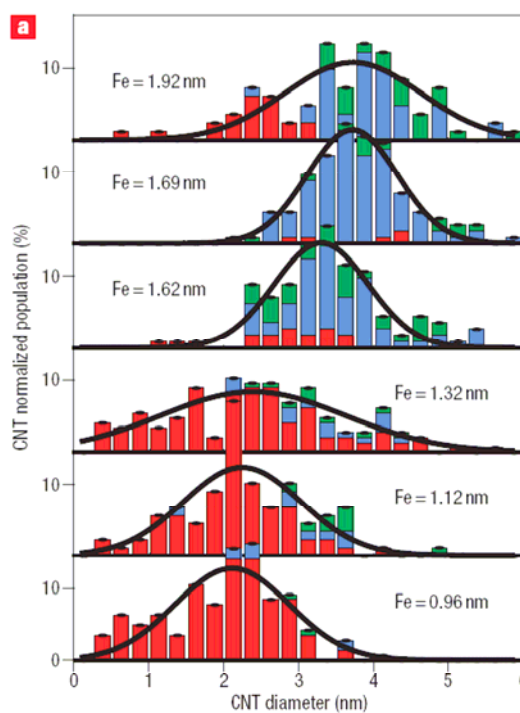


Рис. 2.

Типичная длина УНТ, синтезируемых при использовании CVD метода, составляет несколько микрон. Согласно общепринятым представлениям о механизме роста УНТ, основной фактор, препятствующий дальнейшему росту нанотрубок, связан с отравлением катализатора, эффективность действия которого снижается по мере роста УНТ. При добавлении паров воды, которая, по предположению авторов, предотвращает окисление поверхности катализатора, продолжительность эффективной работы катализатора возрастает настолько, что длина синтезируемых нанотрубок достигает величины 2.2 мм (т. е. возрастает почти на три порядка в сравнении с полученными традиционным методом). Этот результат также создает серьезные предпосылки для массового производства нанотрубок как основы для новых сверхпрочных материалов.

А.В.Елецкий

1. T.Yamada et al. *Nature Nanotechnology* **1**, 131, (2006)

Полевая эмиссия электронов отдельной нанотрубкой

Холодные катоды на основе углеродных нанотрубок (УНТ) являются источниками достаточно больших эмиссионных токов при значительно более низком напряжении питания, чем у традиционных оксидных катодов. Это обусловлено квазиодномерной геометрией и высокой проводимостью УНТ. Рабочие вольт-амперные характеристики (ВАХ) катода на основе УНТ зависят от влияния электрического поля на ориентацию индивидуальной нанотрубки относительно поверхности подложки. Для понимания характера такого влияния важно исследовать эмиссионное поведение отдельной УНТ от угла ориентации нанотрубки, а также от величины приложенного электрического поля. Эта трудная в техническом отношении задача была решена недавно группой исследователей из нескольких научных организаций Южной Кореи (Kyungpook Natl. Univ.; Korea Res. Inst. Standards&Sci.; Korea Basic Sci. Inst.).

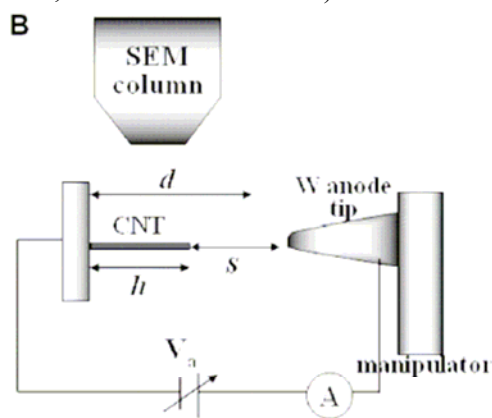


Схема использованной авторами экспериментальной установки показана на рисунке. Исследуемые образцы многослойных нанотрубок радиусом ~ 20 нм укрепляли внутри сканирующего электронного микроскопа (СЭМ), работающего на принципе полевой электронной эмиссии в вакууме 10^{-8} Тор при напряжении до 20 кВ. В качестве анодного зонда использовали полусферический вольфрамовый наконечник радиусом от 100 нм до 2,5 мкм, положение которого регулировали с точностью до 0,25 нм с помощью пьезоманипулятора. Зонд подключали к цепи постоянного тока, содержащей пикоамперметр. Измерения показывают, что облучение образца УНТ электронами в СЭМ существенно изменяет условия эмиссии. В отсутствие облучения при напряжении на аноде 25 В эмиссию электронов из УНТ не наблюдали. При включенном СЭМ такое же напряжение вызывало ток эмиссии из УНТ на уровне 2,5 пА. В процессе измерения ВАХ авторы наблюдали процесс ориентации многослойных нанотрубок перпендикулярно поверхности подложки под действием приложенного электрического поля. При выключении поля ориентация пропадает, и нанотрубки сохраняют свой исходный наклон относительно поверхности.

Измеренные ВАХ отдельных нанотрубок, ориентированных перпендикулярно поверхности подложки, находятся в хорошем соответствии с классической зависимостью Фаулера-Нордгейма. Величина усиления электрического поля оказалась равной 69, по оценкам, в предположении, что работа выхода электрона для УНТ составляет 5 эВ. В случае изогнутых нанотрубок характер ВАХ изменяется, что связано с явлением выпрямления нанотрубки под действием электрического поля. В результате выпрямления структура и коэффициент полевого усиления нанотрубки оказываются зависящими от приложенного электрического поля. Так, усиление электрического поля нанотрубки радиусом 20 нм и высотой 5,14 мкм (до выпрямления) оценивают величиной 188. В то время как при высоких величинах приложенного напряжения высота нанотрубки увеличивается до 5,45 мкм, и усиление достигает величины 201. В силу сильной (экспоненциальной) зависимости эмиссионного тока от величины усиления характер ВАХ реальных УНТ, изначально ориентированных под некоторым углом к поверхности подложки, заметно отличается от классической зависимости Фаулера-Нордгейма.

А.В.Елецкий

1. C.-D.Kim et al. *Nanotechnology* **17**, 5180 (2006)

Будем ли хранить водород в нанотрубках...

Несмотря на ряд критических публикаций и частных высказываний, ученые в разных странах мира по-прежнему считают, что нанотрубки могут быть эффективно использованы для хранения водорода. Экспериментальные и теоретические исследования в этом направлении не прекращаются и даже интенсифицируются. В последнее время появляются работы (в основном теоретические), по нанотрубкам из нитрида бора. Авторы считают, что такие нанотрубки имеют ряд преимуществ по сравнению с углеродными.

В работе исследователей из Pohang Univ. Sci.&Techn. (Ю.Корея) [1] на основании результатов расчетов энергии связи даже утверждается, что активированные нанотрубки из нитрида бора перспективны для хранения водорода при комнатной температуре. По мнению авторов из Univ. Santa Maria, Univ. Uberlandia и Univ. São Paulo (Бразилия) [2], рассмотревших сорбцию как молекулярного, так и атомарного водорода и также рассчитавших энергию связи, нанотрубки из нитрида бора с добавками углерода - еще эффективнее. Еще одно предложение теоретиков из Univ. Crete и Univ. Athens (Греция) - применять для хранения водорода новый материал - SiC нанотрубки [3]. При давлении 1 МПа и температуре 175 К емкость SiC нанотрубок по водороду более, чем в два раза выше, чем у углеродных нанотрубок (УНТ).

Наряду с этим, активно продолжают также исследования сорбции водорода в углеродных УНТ.

Перст, 2006, том 13, выпуск 19

Например, японские экспериментаторы (Chiba Univ., Kyoto Univ. и Shinshu Univ.) представили результаты измерений (правда, при 77K), показывающие, что сорбция водорода в пучках двустенных УНТ существенно выше, чем для одностенных УНТ, и подтвердили данные расчетами [4]. Другие исследователи (например, из Illinois Inst. Techn., Argonne Natl. Lab., США и Wuhan Univ., Китай [5,6]) считают, что повысить сорбционную емкость УНТ и других углеродных наноструктур можно с помощью добавления металлов – катализаторов диссоциации водорода, среди которых одним из лучших является *Pd*. Детальный механизм сорбции водорода пока не ясен, но некоторые авторы считают, что важную роль играет эффект спилловера («перетекания»). Используемые в [6] для модификации УНТ методы декорирования палладием и плазменного травления (увеличивающего число дефектов в стенках и разупорядочение структуры) позволили достигнуть емкости 4.5 масс. % водорода при комнатной температуре и 10.7МПа. (Для немодифицированных УНТ сорбционная емкость составляет ~ 0,6 масс.%, а после плазменного травления, но без добавок *Pd*, вырастает до 1.4 %). Важному вопросу – десорбции хемосорбированного атомарного водорода и молекулярного водорода – посвящена работа китайских теоретиков из Nanjing Univ. Aeronautics and Astronautics и Hunan Univ. Sci. & Techn. [7]. Показано, что остаточный водород, для удаления которого обычно требуются повышенные температуры, может быть эффективно десорбирован при деформации легированных палладием углеродных нанотрубок, и таким образом, обратимое хранение водорода возможно при нормальных условиях (273K и 1ат.).

О.Алексеева

1. S.-H. Jhi et al. *Phys. Rev. B* **74**, 155424, (2006)
2. R.J. Baierle et al. *J.Phys.Chem. B* **110**, 21184,(2006)
3. G. Mpourmpakis et al. *Nano Letters* **6**, 1581, (2006)
4. J. Miyamoto et al. *J.Am.Chem.Soc.* **128**, 12636, (2006)
5. C.-H. Back et al. *J.Phys.Chem. B* **110**, 16225, (2006)
6. S.Mu et al. *Carbon* **44**, 762, (2006)
7. Z.H.Gou et al. *Appl.Phys.Lett.* **89**, 083104, (2006)

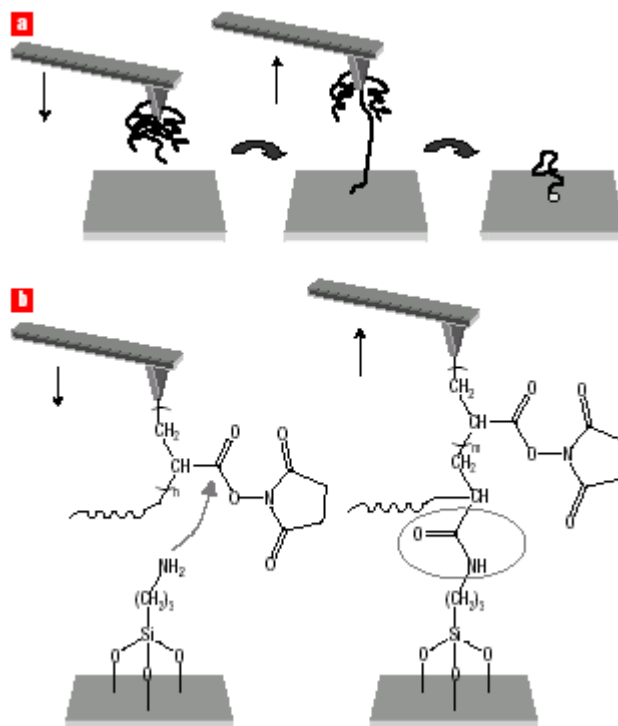
НАНОСТРУКТУРЫ

Нанохимия

Мы уже давно привыкли к сообщениям о сборке наноструктур из отдельных атомов. Теперь к этой всемирной нанотехнологической забаве подключились и химики. Бельгийские (Univ. catholique de Louvain, Univ. Lie`ge) и итальянские (Univ. Bologna) ученые разработали методику, позволяющую переносить на подложку отдельные органические молекулы с помощью атомного силового микро-

ПерсТ, 2006, том 13, выпуск 19

скопа (АСМ) [1]. Для эксперимента (который проводили при комнатной температуре) они использовали длинные полимерные молекулы, имеющие форму цепочек и удерживающиеся за счет хемосорбции на игле АСМ, покрытой слоем *Au*. Поверхностная плотность молекул на игле составляла менее 100нм⁻². При сближении иглы с кремниевой подложкой, покрытой специальным органическим соединением, содержащим химически активные группы *NH₂*, возникает ковалентная связь между цепочкой и подложкой. Эта связь оказывается прочнее, чем связь *C-Au*, за счет которой цепочка держится на игле АСМ. Поэтому при удалении иглы от подложки цепочка отрывается и остается на подложке (см. рис.).



Перенос одной полимерной молекулы на подложку с помощью АСМ - ковалентная связь между полимерной цепочкой и аминогруппой покрытия подложки приводит к отрыву цепочки от иглы АСМ.

Сила, действующая на иглу со стороны цепочки в момент ее отрыва, составляет около 1нН (она возрастает до ~ 2.5нН, если игла покрыта слоем *SiN*). Результаты этого исследования свидетельствуют о принципиальной возможности осуществления химических реакций между всего лишь несколькими молекулами, доставленными иглой АСМ в заданную область поверхности.

Л.Опенев

1. A.-S.Duwez et al., *Nature Nanotechnology* **1**, 122 (2006)

Взаимодействие электронов с магнитными атомами в квантовой точке

Добавление носителей заряда в полупроводники, слабо легированные магнитными элементами, например *Mn*, приводит к возникновению ферромагнетизма в подсистеме атомов *Mn*. А как отдельные

атомы Mn будут взаимодействовать с электронами в квантовых точках?

Физики уже сравнительно давно научились контролировать число электронов (или дырок) на размерно-квантованных уровнях зоны проводимости полупроводниковых квантовых точек, добавляя в квантовую точку (или извлекая из нее) один за другим нужное количество электронов путем резонансного оптического возбуждения или соответствующего изменения напряжения на подложке. Специалисты из Франции (CEA-CNRS group “Nanophysique et Semiconducteurs”; Univ. Joseph Fourier-Grenoble) и Испании (Univ. Alicante) использовали это умение для исследования спинового взаимодействия одного “лишнего” электрона (или одной “лишней” дырки) с одним атомом Mn , замещающим атом Cd в квантовой точке $CdTe$ [1]. По расстоянию между линиями на спектрах фотолюминесценции были, в частности, определены энергии обменного взаимодействия электрон- Mn (40 мкэВ) и дырка- Mn (150 мкэВ), а также показано, что магнитное состояние квантовой точки зависит от ее зарядового состояния ($+e$, $-e$, 0).

Дальнейшее совершенствование методик манипуляции состояниями электрон-атом в квантовых точках и регистрации этих состояний станет важным шагом к созданию наноустройств для обработки цифровой информации.

1. Y.Leger et al., *Phys. Rev. Lett.* **97**, 107401 (2006)

СПИНТРОНИКА

Полуметаллические наноленты из графена

В некоторых материалах, называемых “полуметаллами” (half-metals, не путать с semimetals), например, в перовските $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ [1], электрический ток может быть полностью поляризован по спину. Это связано с тем, что в таких материалах уровень Ферми находится в зоне, образованной состояниями электронов с одной проекцией спина, и лежит выше полностью заполненной зоны состояний с другой проекцией спина. Ведущийся в настоящее время интенсивный поиск новых полуметаллических соединений мотивируется перспективой их использования в спиновой электронике (спинтронике). В работе [2] американские ученые из Беркли, основываясь на численных расчетах из первых принципов, предсказывают полуметаллический спин-поляризованный характер проводимости нанолент из графена – углеродного монослоя, в котором связи $C-C$ образуют правильные шестиугольники (“пчелиные соты”).

Если наноленту вырезать из графена вдоль зигзагообразных углеродных цепочек (см. рис. 1), то на каждом ее крае сформируются специфические “краевые состояния” электронов, волновые функции которых делокализованы в продольном направлении (вдоль разреза) и экспоненциально за-

тухают в поперечном направлении [3]. Ранее такие состояния наблюдали методом сканирующей микроскопии на монокристаллических ступенчатых краях графита. Высказывалось предположение, что спиновая конфигурация основного состояния графеновой наноленты отвечает нулевому полному спину, причем спины электронов на разных краях наноленты ориентированы в противоположных направлениях (антиферромагнитно) [3]. Было также отмечено, что по причине своей локализации краевые состояния должны быть сильнее подвержены действию поперечного электрического поля, чем делокализованные состояния.

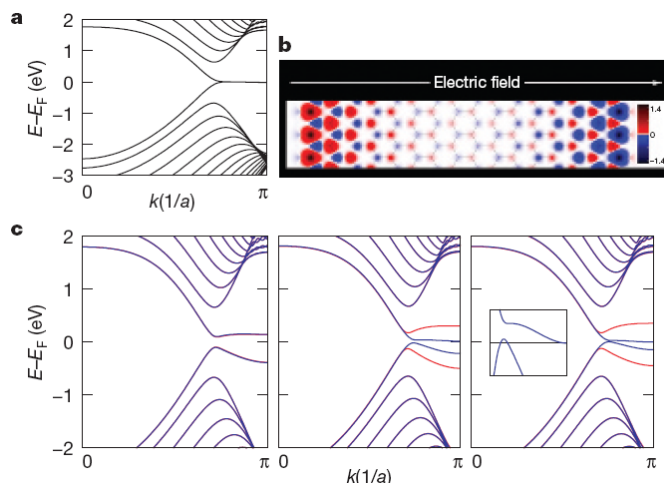


Рис. 1. Схематическое изображение фрагмента наноленты из графена, вытянутой вдоль оси y и находящейся в поперечном электрическом поле, параллельном оси x . Линии – связи $C-C$. Кружки – атомы водорода, использованные для насыщения “болтающихся связей”. Ширина ленты W определяется числом n зигзагообразных углеродных цепочек в продольном направлении (вдоль оси y). Спин-поляризованный ток возникает при наличии в этом направлении небольшой разности потенциалов.

Авторы [2] использовали для расчета метод функционала плотности (DFT) в приближении локальной спиновой плотности ($LSDA$). Они показали, что уровень Ферми находится внутри диэлектрической щели, величина которой обратно пропорциональна ширине наноленты. При этом состояния с противоположной ориентацией спинов (α -спины и β -спины) вырождены во всех зонах. Поперечное электрическое поле E_{ext} снимает спиновое вырождение двух зон (валентной и зоны проводимости), образованных краевыми состояниями, таким образом, что щель между α -зонами увеличивается, а между β -зонами уменьшается и обращается в нуль при $E_{ext} \approx 1 \text{ В/нм}$ (для наноленты из $n=16$ зигзагообразных цепочек углерода, см. рис.1). Как следствие, графеновая нанолента переходит в полуметаллическое состояние: электроны в β -зоне могут участвовать в переносе электрического тока, а в α -зоне – нет. Физическая причина этого эффекта состоит в том, что в каждой зоне (валентной и зоне проводимости) краевые состояния с противоположно ориентированными спинами локализованы на разных краях наноленты,

причем у каждого края спины электронов в валентной зоне и зоне проводимости также направлены в разные стороны (см. рис. 2). Электростатический потенциал ведет к смещению “левых” и “правых” зон относительно друг друга, так что в конечном итоге уровень Ферми оказывается внутри β -зоны. Критическая величина E_{ext} уменьшается с ростом n (то есть с ростом ширины наноленты W), так как разность потенциалов на краях наноленты пропорциональна W и составляет $\approx 0.45\text{В/нм}$ при $n=32$.

Расчеты показали, что полуметаллическое состояние наноленты устойчиво к спин-орбитальному взаимодействию и к различным дефектам – “болтающимся связям”, вакансиям и дефектам Стоуна-Уэльса – с концентрацией $(5 \div 12)\%$ на один краевой атом.

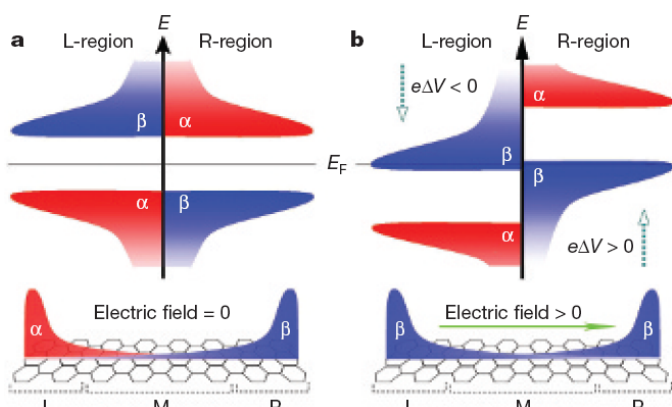


Рис. 2. Схематические изображения занятых и незанятых электронных состояний графеновой наноленты (вверху) и распределения спинов по ее ширине (внизу) без (а) и в присутствии (б) поперечного электрического поля.

Полученные в [2] результаты представляют как фундаментальный, так и практический интерес. Остается дожидаться их экспериментального подтверждения.

Л.Опенев

1. J.-H.Park et al., *Nature* **392**, 794 (1998)
2. Y.-W.Son et al., *Nature* **444**, 347 (2006)
3. M.Fujita et al, *J.Phys.Soc.Jpn* **65**, 1920 (1996)

Спонтанное нарушение симметрии в спинорном бозе-эйнштейновском конденсате

Спинорные атомные газы состоят из атомов с ненулевой величиной собственного углового момента (спина) F , поэтому бозе-эйнштейновский конденсат (БЭК) спинорного газа описывается векторным параметром порядка. Спиновая составляющая энергии БЭКа представляет собой сумму двух слагаемых, одно из которых учитывает межчастичные взаимодействия и не зависит от магнитного поля B , а другое появляется из-за квадратичного зеемановского сдвига и пропорционально B^2 . Первое слагаемое способствует ферромагнитному упорядочению спинов, а второе – конденсации в состояние с нулевой намагнитченностью. Так как магнитная и немагнитная фазы имеют разные симметрии, то при изменении B должен иметь место квантовый фазо-

вый переход, сопровождающийся спонтанным изменением симметрии. В работе [1] такой переход обнаружен в спинорном БЭК из атомов ^{87}Rb с $F=1$. В магнитной фазе отчетливо наблюдались ферромагнитные домены, доменные стенки и “спиновые вихри” – топологические дефекты, характеризующиеся отличными от нуля спиновыми токами, циркулирующими вокруг немагнитных коров. Все эти признаки фазового перехода становятся видимыми спустя несколько десятков миллисекунд после уменьшения B от 2Гс до 50мГс (эксперимент проводили при $T \approx 40\text{нК}$).

В дальнейшем авторы предполагают более подробно изучить эволюцию спиновой текстуры после перехода и, возможно, обнаружить неустойчивость доменных стенок за счет образования пар вихрь-антивихрь.

1. L.E.Sadler et al., *Nature* **443**, 312 (2006)

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Квантовая телепортация двухкубитных систем

Квантовой телепортацией называют передачу информации о квантовой системе из одной точки пространства в другую, удаленную от первой на достаточно большое расстояние. Ранее экспериментаторам удавалось телепортировать лишь состояния единичных фотонов и ионов в магнитной ловушке. Специалисты из Германии, Китая и Австрии сообщили о первой успешной телепортации двухкубитного состояния, а именно – поляризационного состояния двух фотонов [1]. Они использовали специально изготовленный ими для этой цели шестифотонный интерферометр. Величина *fidelity* для различных начальных состояний значительно превысила классический предел 0.40, что говорит о надежности экспериментальной методики. Полученные результаты – шаг к телепортации более сложных объектов. Кроме того, они важны для реализации протоколов квантовой связи и квантовой информации.

1. Q.Zhang et al., *Nature Phys.* **2**, 678 (2006)

НИТРИДНЫЕ НОВОСТИ

Транзисторы с высокой подвижностью электронов на основе AlGaIn с GaN спейсером

В последнее время транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT) на основе гетероструктур AlGaIn/GaN демонстрируют блестящие характеристики. Однако, для получения усиления на частоте 60-70ГГц, частота генерации транзистора должна превышать 100ГГц. Сейчас в лучших образцах достигнута предельная частота 163ГГц при длине затвора 90нм. Увеличить предельную частоту можно, уменьшив длину канала, однако это приведет к уменьшению пробивных напряжений.

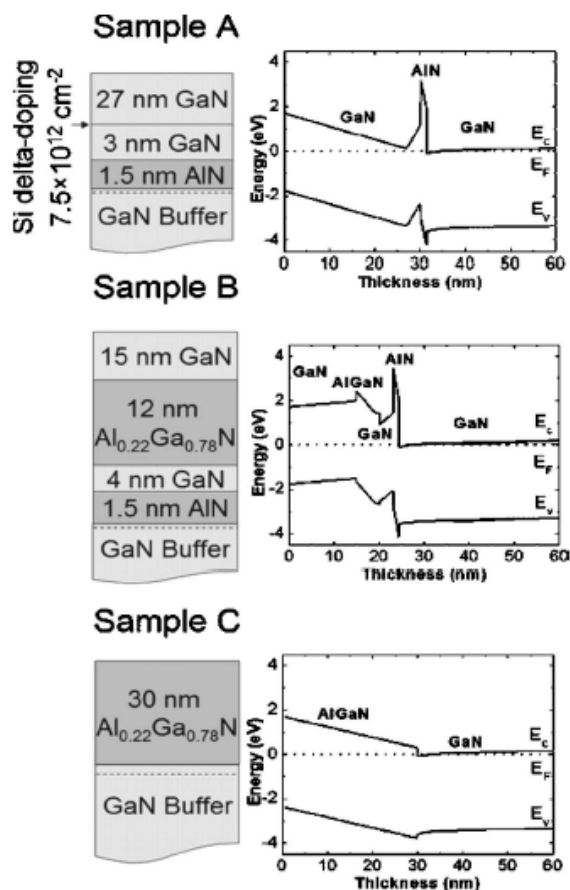


Рис. 1. Схема и зонная диаграмма трех образцов транзисторных структур

Международная группа из университета Калифорнии в Санта-Барбаре и Института физики полупроводников Литвы пошла другим путем [1]. Они попытались увеличить подвижность электронов в канале, введя дополнительный слой (спейсер) между каналом *GaN* и барьером *AlGaIn*. В этом случае волновая функция электронов в канале не проникает в барьер, а затухает в спейсере. При этом уменьшается рассеяние носителей на барьере. После введения спейсера улучшились омические контакты, что привело к увеличению предельной частоты.

Для исследования были изготовлены 2 различные структуры, изображенные на рисунках 1(a) и 1(b). Они сравнивались со стандартной *AlGaIn/GaN HEMT* структурой, изображенной на рис. 1(c). Все образцы были выращены методом *MOCVD* на сапфировых подложках.

Для образцов А и В были получены максимальные величины тока 0.8 и 0.6 А/мм, соответственно (рис. 2), а для стандартного образца С – 1.1 А/мм. На образцах В и С растекание тока на затворе было почти на 2 порядка меньше, чем на образце А. Это обусловлено лучшими омическими контактами на образцах. Три образца показали максимальную крутизну характеристики прямой передачи 240 ± 10 мСим/мм и максимальную частоту 75 ± 3 ГГц при длине затвора 230 нм (оценки показывают, что при длине канала 90 нм частота достигнет 200 ГГц). Для образцов В и С эта ве-

личина ограничена большим сопротивлением канала ($R_s = 0.6$ Ом мм), связанным с малой плотностью двумерного электронного газа ($7.5 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$).

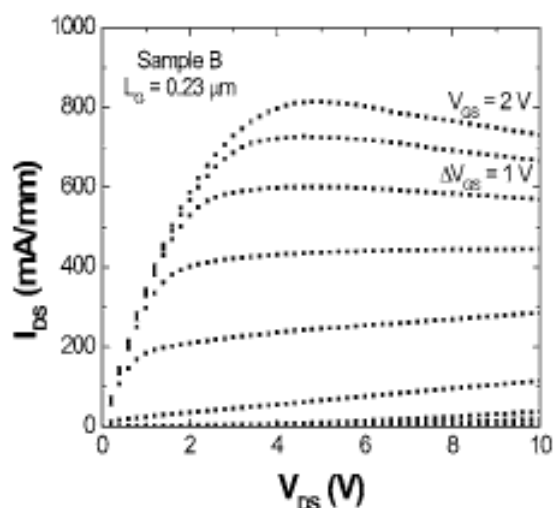


Рис. 2. ВАХ образца транзистора В

Авторы рассчитали скорость электронов в канале. Для стандартного транзистора она составила $(1.6 \div 1.8) \times 10^7$ см/с, а для транзисторов с *GaN* спейсером достигала величины 2.2×10^7 см/с. Подобные величины были получены на 20 транзисторах, что может свидетельствовать о стабильном разделении двумерного электронного газа от барьера *AlGaIn* слоем спейсера. Дополнительное расстояние между электронами и слоем *AlGaIn* способствует меньшему перекрытию волновой функции электронов в слоях транзистора, что улучшает транспортные свойства электронов.

Таким образом, показано, что простое введение *GaN* спейсера в гетероструктуре приводит к уменьшению рассеяния электронов на гетерогранице, 20% увеличению скорости электронов, и, как следствие, улучшает транспортные свойства *HEMT*. Это – многообещающий шаг для создания быстродействующих устройств на *GaN*.

С. Широков

1. T. Palacios et al., *Appl. Phys. Lett.*, **89**, 073508 (2006)

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Катастрофа в Германии не остановит японский маглев

С 13 по 15 сентября 2006 г. в Дрездене прошла 19 Международная конференция по Маглев системам и линейным приводам. На конференции было представлено большое число докладов, посвященных разнообразным аспектам создания Маглев-транспорта, - транспорта, использующего в качестве опоры не рельсы, а силу магнитного взаимодействия. Настоящее и будущее Маглев поездов выглядело весьма оптимистичным.

Но, не прошло и десяти дней, как 22 сентября вблизи г. Латен на севере Германии случилась катастрофа улучшенного прототипа поезда на маг-

нитном подвесе, унесшая жизни 23 пассажиров. Несмотря на то, что как наиболее вероятная причина аварии была названа человеческая ошибка, возникшие многочисленные вопросы безопасности могут нанести удар по идее сверхбыстрых пассажирских поездов, летящих на магнитах.

Катастрофа случилась с Маглев-поездом, разработанным совместной германско-японской компанией *Transrapid International*, образованной *Siemens* и *Thyssen Krupp* с немецкой стороны и *Central Japan Railway of Nagoya (JR Central)* с японской. Основной задачей компании на настоящем этапе являлось получение выгодного контракта на строительство скоростного шатла длиной 37 км между аэропортом Мюнхена и центральной железнодорожной станцией. Предполагалось, что местами крейсерская скорость поезда будет достигать до 500 км в час, в то время как эксплуатационная скорость традиционного быстрого рельсового транспорта (например, французского *TGV*) не превышает 320 км в час.

Стоит отметить, что компании, образовавшие *Transrapid International*, уже имели успешный опыт строительства 30 километрового аэропортового шатла в Шанхае. Этот проект был завершен в 2002 г. при стоимости 1.2 млрд. долл. Представители *Siemens* and *Thyssen Krupp* заявили, что следующие зарубежные проекты будут невозможны до тех пор, пока не будет построена маглев линия в Германии. Однако, после катастрофы 22 сентября, мэр Мюнхена Christian Ude высказался против выделения 1,6 млрд. евро на маглев шатл, говоря, что он предпочитает традиционный высокоскоростной поезд стоимостью всего 500 млн. евро. Одним из существенных доводов был тот, что учет проблем безопасности может поднять бюджет проекта маглев шатла до 2.5 млрд. долл. и более.

Некоторые специалисты считают, что одна из основных проблем безопасности заключается в относительно легком весе поезда на магнитной подушке, в результате чего любая помеха на треке становится проблемой. И чем тяжелее эта помеха, тем больше проблема. Одной из потенциальных мер по обеспечению безопасности было бы автоматическое отключение всей системы всякий раз, когда какой-либо объект касается трека. Однако в этом случае выключение может быть вызвано и безопасными объектами, такими как птицы, и полет со скоростью самолета может превратиться в стояние в пробке. Другие потенциальные меры улучшения безопасности могут включать в себя установку радаров или видеокамер как вдоль трека, так и на самом поезде.

Сторонники проекта опровергают завышенные требования по безопасности, и транспортные специалисты по всему миру разошлись во мнениях, означает ли сентябрьская катастрофа то, что поезд *Transrapid* объективно ненадежен. В свою очередь,

представители японской стороны *JR Central* уже через три дня после аварии заявили, что готовы инвестировать более 3.1 млрд. долл. в течение следующих 10 лет в совершенствование маглев технологии. *JR Central* планирует построить большой демонстрационный маглев трек и разработать поезд, использующий ВТСП магниты. Первые испытания Маглев поезда на новых магнитах продемонстрировали скорость 533 км в час.

Итак, будущее немецких Маглев-проектов остается неопределенным. В 2000 г., после восьми лет согласований, был отклонен проект 300 км сообщения между Берлином и Гамбургом. Такой же участи тремя годами позже последовал проект Дортмунд-Дюссельдорф. И вот теперь сентябрьская катастрофа делает сомнительным реализацию проекта в Мюнхене.

И.Руднев

Nature 2006, 443, 621

Ученые получили первые дивиденды от ITER

В конце ноября с.г. в Париже официальные представители 7 стран-партнеров (Индия, Китай, Россия, США, Франция, Ю.Корея, Япония) подписали соглашение о начале строительства международного термоядерного реактора (проект *ITER*).

В итеровском консорциуме после длительных войн и дипломатических реверансов наступило полное примирение. Печаль японских ученых, не получивших права строить на своей территории термоядерный реактор сменилась радостью. В подписанном соглашении Японии достается другое важное для изучения термояда оборудование, расход на строительство которого (870 млн. долл.) поделят между собой Япония и ЕС.

Остались довольны и европейцы, получив право на строительство самого термоядерного реактора на своей территории (в г. Cadarache на юге Франции) ценой увеличения до 50% своего вклада в строительство. Другую половину расходов возьмут на себя оставшиеся участники итеровского консорциума (Индия, Китай, Россия, США, Ю.Корея, Япония).

Принято еще одно важное решение – создание международной исследовательской лаборатории (*International Fusion Materials Irradiation Facility – IFMIF*) для изучения поведения материалов в условиях нейтронного облучения, близкого к реализуемому на реакторе *ITER* и будущему прототипу термоядерной электростанции. На данном этапе партнеры приступят к созданию дизайн-проекта *IFMIF* (стоимость – 190 млн. долл.), строительство же этого объекта планируют начать через 6 лет.

Япония намерена финансировать и другие важные объекты в поддержку термоядерных исследований:

- переоборудовать существующий у них термоядерный реактор *JT-60*, установив в нем сверхпроводящие магниты, создавая

таким образом мини-ITER для предварительного испытания возможных рабочих сценариев термоядерного синтеза;

- создать Центр термоядерных исследований (International Fusion Energy Research Center) в Rokkasho, в котором разместить суперкомпьютер для моделирования плазменных процессов, важных для конструирования прототипа будущей термоядерной электростанции.

Science 2006, **314**, 1227

КОНФЕРЕНЦИИ

Внимание!

Национальный контактный центр России по 4-му тематическому приоритету 7-й Рамочной программы Евросоюза «Нанонауки и нанотехнологии, материалы и новые технологии производства» приглашает вас принять участие в Международном информационном дне «Навстречу Седьмой рамочной программе Евросоюза».

Информационный день посвящен презентации 4-го тематического приоритета 7-й Рамочной программы научно-технологического развития Евросоюза «Нанонауки и нанотехнологии, материалы и новые технологии производства» (FP7-NMP).

Будут обсуждаться следующие вопросы:

- Результаты конкурсов 6-й Рамочной программы Евросоюза (2002-2006 гг.) в области нанотехнологий; участие российских организаций в проектах FP6-NMP;
- Обмен опытом подготовки заявок и участия в проектах FP6-NMP; презентация ряда успешных проектов с российским участием;

- Главные аспекты 7-й Рамочной программы Евросоюза (2007-2013 гг.);
- Правила участия российских организаций в конкурсах FP7-NMP; обсуждение с представителями Министерства науки и образования РФ и Европейской Комиссии проблем и перспектив участия российских организаций в конкурсах 7-й Рамочной программы Евросоюза в области нанотехнологий.

В работе семинара примут участие представители министерств и ведомств, научных организаций и вузов, малых и средних предприятий РФ, Делегации Европейской Комиссии в России, ИНТАС.

Семинар состоится по адресу:

Москва, ул. Бутлерова, д.17а
Институт кристаллографии РАН,
конференц-зал

15 декабря 2006 г., 10.00-16.00

Начало регистрации - 9.30

Желающих принять участие в мероприятии просим до 10 декабря прислать заявку на электронный адрес fp6-nano@ns.crys.ras.ru, либо зарегистрироваться по телефону 8-916-707-92-57.

Оргкомитет информационного дня

Контактное лицо:

Мелконян Марина Карапетовна,
ученый секретарь проекта "INTAS FP6 NIS Information Network"

Тел./Факс: +7(495)135-05-81

E-mail: fp6-nano@ns.crys.ras.ru

<http://www.fp6-nano.com>

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

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, А.Елецкий, Ю.Метлин, Л.Опенев, И.Руднев, С.Широков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

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