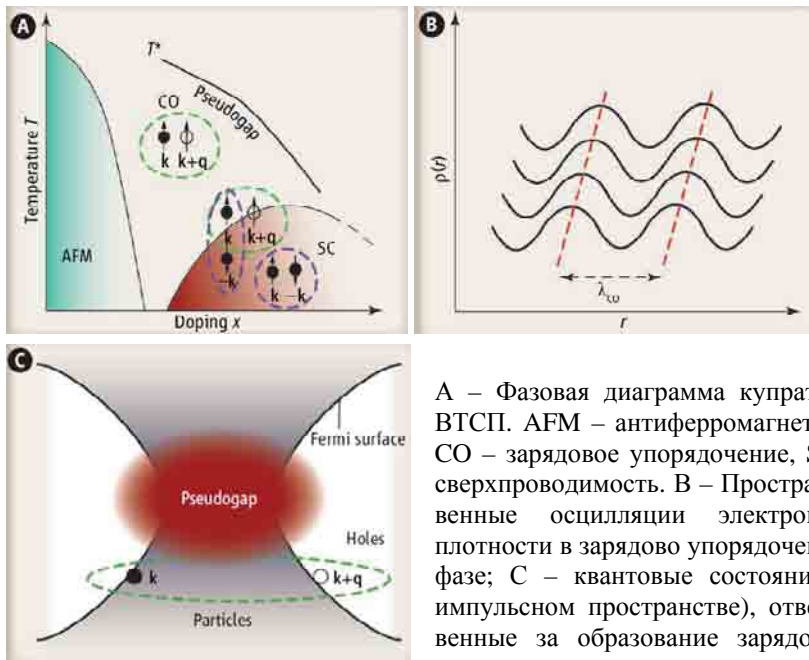


В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### Высокотемпературная сверхпроводимость: туман рассеивается?

Одна из главных задач физики конденсированного состояния заключается в выяснении микроскопической природы свойств материалов. В системах с сильными межчастичными взаимодействиями эта задача осложняется конкуренцией между различными типами коллективных неустойчивостей, в результате чего часто бывает трудно определить первопричину того или иного поведения системы. Так, например, на фазовой диаграмме купратных ВТСП (рис. 1А) псевдощелевая область находится в непосредственной близости к антиферромагнитной, зарядово упорядоченной и сверхпроводящей областям. Непонятно: то ли магнетизм индуцирует сверхпроводимость и псевдощель, то ли псевдощель способствует формированию зарядового порядка, подавляя тем самым магнетизм и сверхпроводимость.



А – Фазовая диаграмма купратных ВТСП. AFM – антиферромагнетизм, CO – зарядовое упорядочение, SC – сверхпроводимость. В – Пространственные осцилляции электронной плотности в зарядово упорядоченной фазе; С – квантовые состояния (в импульсном пространстве), ответственные за образование зарядового порядка и псевдощели.

В статьях [1, 2] (Канада, Германия, США, Япония) получена новая информация о взаимоотношении разных фаз в купратах. Комбинируя поверхностные методики (сканирующая электронная микроскопия, фотоэлектронная спектроскопия) с объемными (резонансное упругое рассеяние рентгеновских лучей), авторы этих работ установили, что ниже некоторой характеристической температуры  $T_{CO}$  в ВТСП  $Bi2201$  и  $Bi2212$  формируется динамический зарядовый порядок. Длина волны пространственных осцилляций заряда (рис. 1В) практически такая же, как в лантановых и иттриевых ВТСП, то есть динамическое упорядочение заряда – общая черта купратов. Величина  $T_{CO}$  близка к температуре образования псевдощели  $T^*$ , свидетельствуя о тесной взаимосвязи псевдощели и зарядового порядка. Но что из них причина, а что – следствие?

И далее ...

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 2 Гигантские спиновые осцилляции в ультрахолодном фермиевском море

Атомно-силовой микроскоп и волна зарядовой плотности

- 3 Королевский кислород

## ПЕРВЫЕ СООБЩЕНИЯ

- 3 Фосфорен

Ориентированный карбин – первый топологический изолятор

## ГРАФЕН

- 4 Холодный полевой эмиттер на основе графена

## НАНОТЕХНОЛОГИИ

- 5 Нановолокна слушают классическую музыку

## СНОВА К ОСНОВАМ

- 7 Дипольный момент электрона  
ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

- 7 Из чего же сделана шаровая молния?

## СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

- 8 Контроль влияния напряжений и эффект Яна-Теллера

- 9 КОНФЕРЕНЦИИ

Анализ квантовых состояний, задействованных в формировании зарядового порядка и псевдощели (рис. 1С), показал, что псевдощель первична – она способствует упорядочению заряда. Интересно, что при сверхпроводящем переходе зарядовый порядок ослабевает. Это отражает конкуренцию электрон-электронного и электрон-дырочного спаривания.

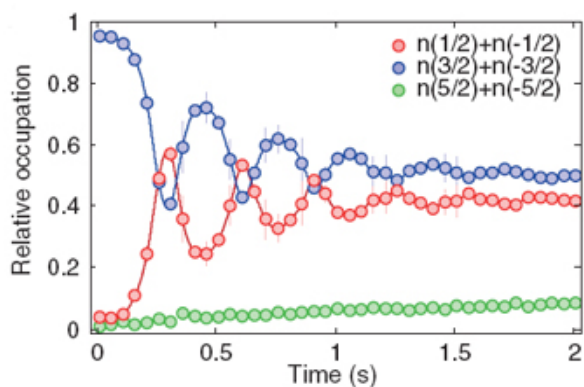
По материалам заметки  
 “Lifting the fog of complexity”,  
 D.K.Morr, *Science* **343**, 382 (2014).

1. R.Comin et al., *Science* **343**, 390 (2014).
2. E.H. da Silva Neto et al., *Science* **343**, 393 (2014).

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### Гигантские спиновые осцилляции в ультрахолодном фермиевском море

Коллективное поведение многочастичных систем лежит в основе самых разнообразных физических явлений – от образования облаков на небе до магнетизма твердых тел. Фундаментальный вопрос здесь заключается в том, как микроскопические взаимодействия между частицами приводят к макроскопическим эффектам: сверхтекучести, сверхпроводимости, колоссальному магнетосопротивлению и пр. Для поиска ответов на этот вопрос идеальной модельной системой являются квантовые атомные газы, охлажденные до сверхнизких температур. Современные экспериментальные методики позволяют с высокой точностью контролировать силу межатомного взаимодействия в таких газах и изменять их мерность (3D, 2D, 1D). Особый интерес представляют системы ультрахолодных фермиевских атомов – из-за их аналогии с электронами в твердых телах, нейтронными звездами и барионной материей. В большинстве экспериментов используются ферми-атомы со спином 1/2, что позволяет изучить, например, кроссовер между бозеконденсатом локальных пар и БКШ-сверхпроводимостью. От систем фермионов с большим спином можно ожидать качественно новых коллективных эффектов, связанных со спиновыми степенями свободы.



Коллективные спиновые осцилляции в ультрахолодном газе ферми-атомов  $^{40}\text{K}$ . Здесь  $n(m)$  – числа заполнения различных спиновых состояний, нормированные на полное число атомов.

В работе [1] (Германия, Испания) изучена спиновая динамика квантового вырожденного газа атомов  $^{40}\text{K}$  со спином 9/2, которые могут находиться в десяти спиновых состояниях с магнитными квантовыми числами  $m = -9/2, \dots, 9/2$ . При столкновении двух атомов их спиновая конфигурация изменяется ( $m_1, m_2 \rightarrow m_3, m_4$ ), но полная намагниченность сохраняется ( $m_1+m_2 = m_3+m_4$ ). Изменяя числа заполнения состояний с различными  $m$ , авторы [1] наблюдали долгоживущие осцилляции с большой амплитудой (см. рис.). При низких температурах принцип запрета Паули ( $m_1 \neq m_2, m_3 \neq m_4$ ) стабилизирует такое коллективное поведение спинов. Нагревание приводит к затуханию, связанному с возбуждениями частица-дырка. Еще один интересный результат получен при большой концентрации атомов ( $\sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ): возбужденная спиновая конфигурация оставалась устойчивой в течение нескольких секунд, что авторы связывают со стабилизирующей ролью некогерентных межатомных соударений. Все экспериментальные данные удается объяснить в рамках однодогового приближения среднего поля, то есть все фермиевское море эволюционирует в спиновом пространстве как единый квантовый объект. Из числа возможных направлений дальнейших исследований отметим такое экзотическое явление, как формирование топологических текстур в сверхтекучих газах с большим спином.

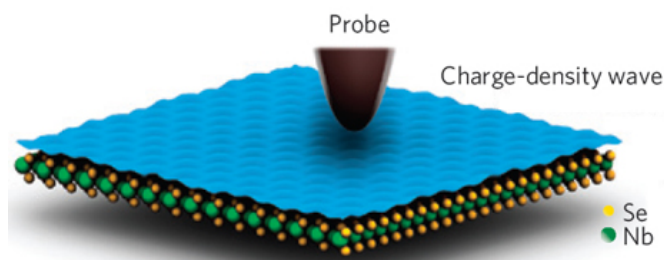
Л.Опенев

1. J.S.Krauser et al., *Science* **343**, 157 (2014).

### Атомно-силовой микроскоп и волна зарядовой плотности

Когда одно макроскопическое тело скользит по поверхности другого, то возникает трение и происходит диссипация энергии. На наноуровне возможно также бесконтактное трение, которое обусловлено электромагнитными полями, создаваемыми, например, за счет тепловых и квантовых флуктуаций электронной плотности. Для изучения такого трения используют атомно-силовой микроскоп (АСМ) в динамическом режиме: о силе трения судят по изменению амплитуды и частоты колебаний иглы АСМ, закрепленной на краю кантилевера и отстоящей от образца на несколько нанометров. Этот подход позволил, в частности, зарегистрировать резкое уменьшение “электронного трения” при сверхпроводящем переходе (вследствие подавления флуктуаций заряда из-за образования щели в энергетическом спектре). В статье [1] (Швейцария, Италия, Великобритания) обнаружено, что по мере приближения колеблющейся иглы АСМ к поверхности слоистого дихалькогенида  $\text{NbSe}_2$  (см. рис.) вместо ожидаемого монотонного увеличения диссипации наблюдаются три четко выраженных пика. Этот эффект имеет место только ниже температуры формирования в  $\text{NbSe}_2$  волны зарядовой плотности (ВЗП). Авторы объясняют его тем, что игла инду-

цирует локальное изменение фазы ВЗП (каждый пик соответствует сдвигу фазы на  $2\pi$ ). Таким образом, АСМ можно использовать не только для определения структуры поверхности, но и для изучения коллективных электронных явлений.

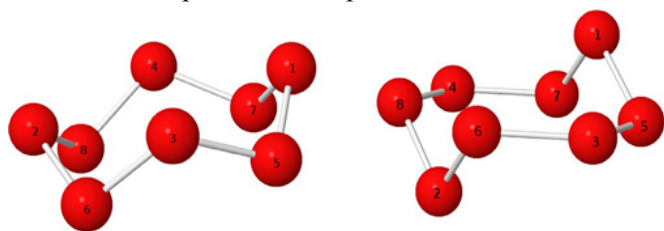


Игла атомно-силового микроскопа у поверхности NbSe<sub>2</sub>.

1. M.Langer et al., *Nature Mater.* **13**, 173 (2014).

### Королевский кислород

Известно, что при нормальных условиях атомы кислорода способны образовывать две аллотропные модификации: собственно кислород (O<sub>2</sub>) и озон (O<sub>3</sub>). Однако ряд исследователей сходятся во мнении, что возможно формирование и более крупных соединений (кластеров), в которых атомы кислорода связаны посредством сильного ковалентного взаимодействия. Так, например, в работе [1] авторы детально рассмотрели несколько циклических изомеров O<sub>8</sub> (предсказанных ранее [2, 3]) с целью более точного определения их геометрии и энергетических характеристик, а также для оценки устойчивости. Компьютерное моделирование “из первых принципов” исследователи проводили в рамках достаточно требовательных к вычислительным ресурсам, но в тоже время обладающих высокой точностью MP2 и CCSD подходов. В результате оказалось, что метастабильная конфигурация O<sub>8</sub>, напоминающая по форме королевскую корону (см. рис.), обладает наиболее низкой энергией среди представленных в работе изомеров.



Общий вид циклических изомеров O<sub>8</sub>: “корона” (слева) и изомер, предложенный в работе [3] (справа)

Авторы предполагают, что данная структура является единственным возможным устойчивым изомером O<sub>8</sub>, т.к. дальнейшие расчеты колебательных спектров показали, что все частоты для данной конфигурации действительны, чего нельзя сказать об остальных системах: в их спектрах присутствуют мнимые частоты. Следовательно, они должны отвечать не метастабильным, а переходным состояниям. В настоящее время авторы проводят тестовые молекулярно-динамические расчеты для определе-

ния термической устойчивости “короны” O<sub>8</sub>. Возможно, время ее жизни при криогенных температурах или даже при комнатных окажется достаточным для экспериментального обнаружения. Будем следить за результатами.

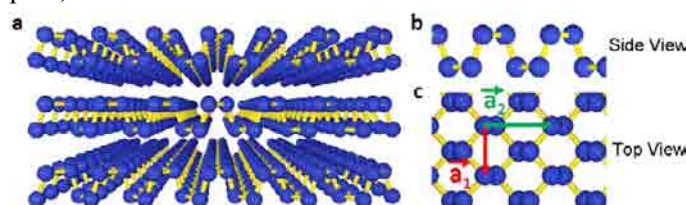
M. Маслов

1. A.J. Ochoa-Calle and A. Ramírez-Solís, *Chem. Phys Lett.* **592**, 326 (2014).
2. K.S. Kim et al., *J. Chem. Phys.* **92**, 1887 (1990).
3. G. Forte et al., *Phys. Lett. A* **377**, 801 (2013).

## ПЕРВЫЕ СООБЩЕНИЯ

### Фосфорен

Вслед за графеном, силицином, станеном и пр. продолжается активный поиск новых квазидвумерных материалов для нужд нанoeлектроники (и просто из любопытства). В препринте [1] сообщается об изготовлении фосфорена (phosphorene), представляющего собой несколько слоев черного фосфора (см. рис.).



Структура фосфорена.

Подобно графену, фосфорен можно получить отслаиванием от макроскопического образца. Фосфорен такой же гибкий, как графен, но выгодно отличается от последнего наличием прямой запрещенной зоны в электронном спектре. Для монослоя фосфорена расчеты из первых принципов дают  $E_g = 0.9$  эВ. С ростом числа слоев величина  $E_g$  монотонно уменьшается. Полевые транзисторы из фосфорена демонстрируют отличные характеристики при комнатной температуре.

1. H.Liu et al., [arXiv:1401.4133](https://arxiv.org/abs/1401.4133) (2014).

### Ориентированный карбин – первый топологический изолятор

В последнее время повышенный интерес привлекают к себе топологические изоляторы (ТИ). Ведется поиск путей создания ТИ, которые могли бы использоваться в устройствах с комнатной рабочей температурой. Однако, возможно, именно такой материал, сформированный ориентированными цепочками атомов углерода (ориентированный карбин), был впервые создан нашими соотечественниками еще в 1992 г. [1], то есть задолго до появления теории ТИ (2005 г.) и первых официально признанных ТИ (2007 г.).

В статье [2] приводится модель ориентированного карбина, согласно которой он является ТИ необычного вида. Эта модель впервые непротиворечиво объясняет обнаруженные в 2005 г. 1) эффект “суперинжекции” [3] и 2) спектр поперечной проводи-

мости [4]. Эффект суперинжекции (см. рис.) не может быть объяснен с позиций классической зонной теории, и это основной аргумент в пользу новой модели.

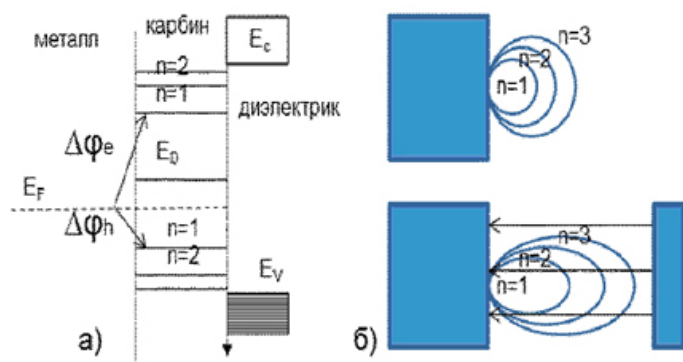


Схема процесса суперинжекции.

а – Энергетическая диаграмма процесса термической ступенчатой активации на уровнях Ландау. б – Вид на инжектирующий контакт сверху, носители последовательно активируются на уровнях Ландау  $n$  и инжектируются нормально плоскости рисунка вниз, в диэлектрик; нижний рисунок схематически иллюстрирует влияние внешнего поперечного поля – круговые орбиты Ландау вытягиваются в эллиптические, а орбитальная скорость становится непостоянной.

Суть эффекта в том, что из ориентированного карбина носители могут одинаково легко инжектироваться в любые диэлектрики. Температурные зависимости инжекционного тока подтвердили его активационный характер с “эффективным” барьером, принимающим фиксированный спектр значений в интервале 0.1-0.4 эВ. Такой же спектр проявился ранее на зависимости поперечного сопротивления от толщины пленки и, как оказалось, он в точности соответствует спектру релятивистских 2D уровней Ландау. Квантование Ландау здесь обусловлено псевдомагнитным полем, по аналогии с эффектом, обнаруженным недавно в растянутом графене. Носители, двигаясь последовательно по этим уровням, могут достигать любых энергий. Однако для классических носителей этот процесс невозможен, единственная теория, которая допускает такой процесс – это теория ТИ. При сильной связи спина и импульса релятивистские носители могут достигать полной “топологической защиты” – квантовая интерференция рассеянной волновой функции делает рассеяние невозможным. Выходит так, что носители находятся в непрерывном движении на орбитах Ландау, но при этом могут поглощать фононы, перемещаясь выше по энергетической лестнице. Во внешнем электрическом поле возникает инжекционный ток, контролируемый максимальной ступенькой в лестнице Ландау – тот самый “эффективный” барьер. Его высота (около 0.4 эВ) близка к энергии спин-орбитального взаимодействия (СОВ) в ориентированном карбине. Это довольно большая величина позволяет ориентированному карбину при температурах выше комнатной вести себя, как ТИ.

Почему же именно в ориентированном карбине достигается столь сильное СОВ? Одну углеродную цепочку можно представить себе как нанотрубку минимального диаметра, в которой, как известно, СОВ максимально (радиус вращения электрона минимален). Это “собственное СОВ” усиливается на гидрированных концах цепочек за счет перехода  $sp^1-sp^3$ , по аналогии с графеном (в гидрированном графене переход  $sp^2-sp^3$ ) – этот эффект носит название “гигантского усиления СОВ”. Таким образом, эффект связан с уникальностью как чистого карбина, так и 2D структуры его ориентированной формы, основу которой составляет матрица водородных связей. Гигантское усиление СОВ проявляется также в возникновении псевдомагнитного поля. По своим свойствам ориентированный карбин близок к растянутому графену, с той лишь разницей, что конус Дирака поляризован, и движение носителей происходит без диссипации, как в сверхпроводнике. Графен мало перспективен для наноэлектроники из-за того, что проводимость ничем не блокирована. В ориентированном же карбине гигантское псевдомагнитное поле локализует проводимость по замкнутым орбитам Ландау – в этом отношении он уникален. Создать подобный материал на основе графена до сих пор не удавалось, несмотря на многочисленные попытки.

Технология выращивания этого уникального углеродного материала [1] проста: он самоорганизуется в вакууме, что делает его не просто исторически первым искусственным топологическим изолятором – он подходит для выращивания в любой микроэлектронной фабрике.

Ю.Праздников

1. Yu.P.Kudryavtsev et al., *Carbon* **30**, 213 (1992).
2. Yu.Prazdnikov, *Advances in Microelectronic Engineering* **2**, 7 (2014).
3. Yu. Prazdnikov et al., *J. Russian Laser Research* **26**, 55 (2005).
4. Yu.Prazdnikov et al., *J. Russian Laser Research* **26**, 245 (2005).

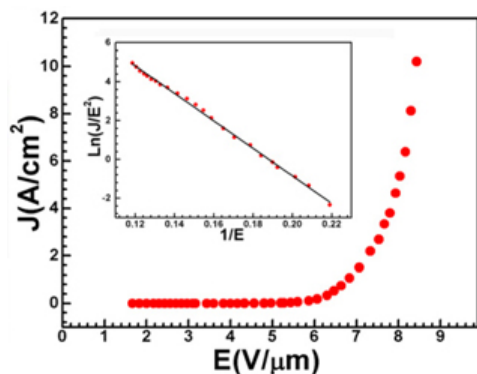
## ГРАФЕН

### Холодный полевой эмиттер на основе графена

Как известно, наноуглеродные структуры (нанотрубки, графен) отличаются повышенными эмиссионными характеристиками, а также хорошей электропроводностью и теплопроводностью. Благодаря высокому аспектному отношению (отношение длины к диаметру) углеродных нанотрубок (УНТ) вблизи конца нанотрубки происходит значительное усиление электрического поля, что приводит к холодной эмиссии электронов при относительно низких величинах приложенного напряжения (порядка нескольких сотен вольт). В последние годы проблеме создания холодных полевых катодов на основе УНТ уделялось пристальное внимание, что

нашло свое отражение в сотнях публикаций. Интерес к созданию холодных полевых эмиттеров на основе графена также обусловлен значительным эффектом усиления электрического поля, наблюдаемым вблизи кромки графенового листа. Кроме того, в отличие от УНТ, большинство которых обладают полупроводниковыми свойствами, графен обладает металлической проводимостью, что облегчает транспорт электронов через эмиттер.

Первые эксперименты, демонстрирующие возможность использования графена для получения полевой электронной эмиссии, проводили либо с неупорядоченными массивами графеновых хлопьев [1-5], либо с индивидуальными графеновыми листами [6], в то время, как практическое значение имеет эмиссия на основе упорядоченных массивов графена, которая должна характеризоваться высокой стабильностью и воспроизводимостью. Успешная попытка создания такого массива была предпринята китайскими исследователями [7], которые получили значительный ток эмиссии с упорядоченного массива графеновых листов (графеновой бумаги). Эти листы были получены стандартным методом Хаммерса, основанным на окислении графита с последующей эксфолиацией графеновых слоев и их восстановлением в атмосфере водорода при температуре 500°C. Характерный размер отдельного листа составлял 10 мкм, а толщина около 1 нм, что соответствует аспектному отношению около  $10^4$ . Эмиттер был составлен из вертикально ориентированного высокоупорядоченного массива таких листов.



Вольт-амперная характеристика полевого эмиттера на основе упорядоченного массива графеновых листов. На вставке показана эта же характеристика в координатах Фаулера-Нордгейма.

Эмиссионные эксперименты проводили в условиях вакуума ( $3 \cdot 10^{-7}$  Торр) при межэлектродном расстоянии 300 мкм. Диаметр анода составлял 1 мм. Измеренная вольт-амперная характеристика эмиссии представлена на рисунке. Прямолинейность этой зависимости в координатах Фаулера-Нордгейма указывает на полевой механизм эмиссии, связанный с туннелированием электронов под действием электрического поля. Как видно, максимальная величина плотности тока эмиссии составляет примерно  $10 \text{ A/cm}^2$ .

Наряду с плоскими графеновыми массивами, в экспериментах использовали также эмиттеры цилиндрической формы, которые изготавливали посредством нанесения графеновой бумаги на стальной цилиндр. Такие эмиттеры испускали электронный пучок в форме полого цилиндра, оставляющий на люминесцирующей поверхности анода пятно в форме окружности. Рулон, свитый из графеновой бумаги, содержит множество слоев и может рассматриваться как графеновая электронная пушка, эмитирующая пучок в форме сплошного цилиндра и оставляющая на люминесцентном аноде пятно в форме заполненного круга. Высота такого рулона составляет 1 см, а диаметр – около 500 мкм. Вольтамперная характеристика такого эмиттера, представленная в координатах Фаулера-Нордгейма, также имеет прямолинейный вид. Максимальная плотность тока составляет около  $3 \text{ A/cm}^2$  и достигается при средней величине напряженности электрического поля 11 В/мкм и токе эмиссии 6 мА. При этом коэффициент усиления электрического поля, установленный на основании измеренной вольтамперной характеристики, составляет около 1000. Такая относительно невысокая величина обусловлена экранирующим действием графеновых листов, снижающим эффективный коэффициент усиления эмиттера.

А. Елецкий

1. A.T.T. Koh et al., *Appl. Phys. Lett.* **101**, 183107 (2012).
2. J. Liu et al., *Appl. Phys. Lett.* **101**, 153104 (2012).
3. G. Eda et al., *Appl. Phys. Lett.* **93**, 233502 (2008).
4. Malesevic et al., *J. Appl. Phys.* **104**, 084301 (2008).
5. Z.-S. Wu et al., *Adv. Mater.* **21**, 1756 (2009).
6. Z. Xiao et al., *ACS Nano* **4**, 6332 (2010).
7. J. Liu et al., *Appl. Phys. Lett.* **104**, 023101 (2014)

## НАНОТЕХНОЛОГИИ

### Нановолокна слушают классическую музыку

Акустика, одна из самых древних областей знания, возникла еще за несколько веков до нашей эры как учение о звуке, или упругих волнах, воспринимаемых человеческим ухом (т.е. в диапазоне частот от 16-20 Гц до 20 кГц). Позже диапазон исследуемых упругих волн расширился и охватил области ниже (инфразвук) и выше (ультразвук, гиперзвук) слышимого звука. Акустика изучает не только процессы возбуждения и распространения звука, но также взаимодействие звуковых волн с веществом и их различные применения. Один из эффектов, двойное лучепреломление, возникающее в жидкостях и растворах из-за определенного ориентирования частиц или молекул при прохождении ультразвуковой волны, представляет большой интерес для нанотехнологий. Таких явлений трудно ожидать в диапазоне слышимого звука, ведь длины волн существенно больше молекулярных масштабов. Тем не менее,

японские ученые недавно сообщили о динамическом ориентировании полимерных нановолокон в гармонии со звуками классической музыки [1].

Авторы синтезировали полимерные нановолокна из производных антрацена (AN) в растворе н-гексана. При концентрации  $[AN] = 4.2 \cdot 10^{-5} M$  диаметр полученных волокон равен 8 нм, длина 10-1000 нм; при большей концентрации  $[AN] = 8.3 \cdot 10^{-5} M$  диаметр не меняется, а длина растет (рис.1).

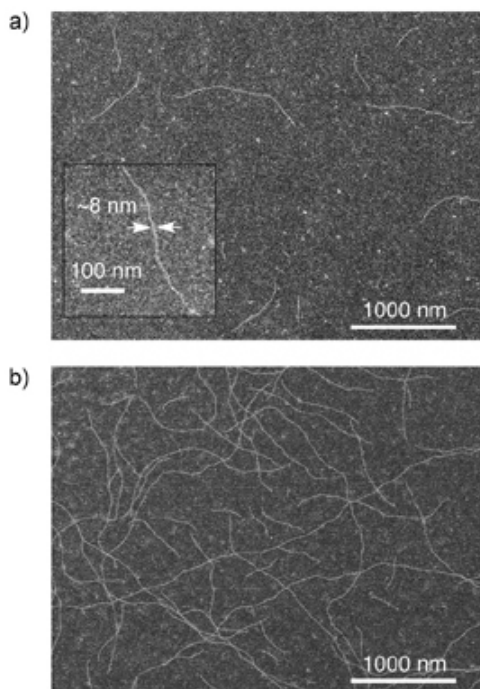


Рис. 1. SEM изображения высушенных на воздухе нановолокон, полученных при концентрациях  $[AN] = 4.2 \cdot 10^{-5} M$  (a) и  $[AN] = 8.3 \cdot 10^{-5} M$  (b).

Для изучения акустического воздействия авторы [1] использовали спектроскопию линейного дихроизма (ЛД). Схема измерений показана на рис. 2а. Кварцевую кювету заполняли раствором нановолокон в н-гексане. При включении звука частотой от 100 до 1000 Гц возникали характерные ЛД полосы поглощения, тогда как без воздействия звука эффекта не было (рис. 2б,с). Интересно, что в экспериментах с растворами полистирола и поликарбоната в этом диапазоне частот авторы [1] не получили ЛД откликов, хотя известно, что под действием ультразвука в них возникает эффект двойного лучепреломления. Таким образом, механизмы воздействия УЗ и слышимого звука разные. Длина волны звука частотой 120 Гц в н-гексане при 25°C около 9 м, поэтому нельзя ожидать прямого взаимодействия звуковой волны с нановолокнами. По-видимому, их выстраивание в вертикальном направлении происходит благодаря акустическим течениям (“акустическому ветру”). Эти вихревые течения возникают в интенсивном звуковом поле в жидкостях и газах (главным образом при неоднородностях поля и вблизи препятствий). Схема возможного формирования акустических течений приведена на рис. 3.

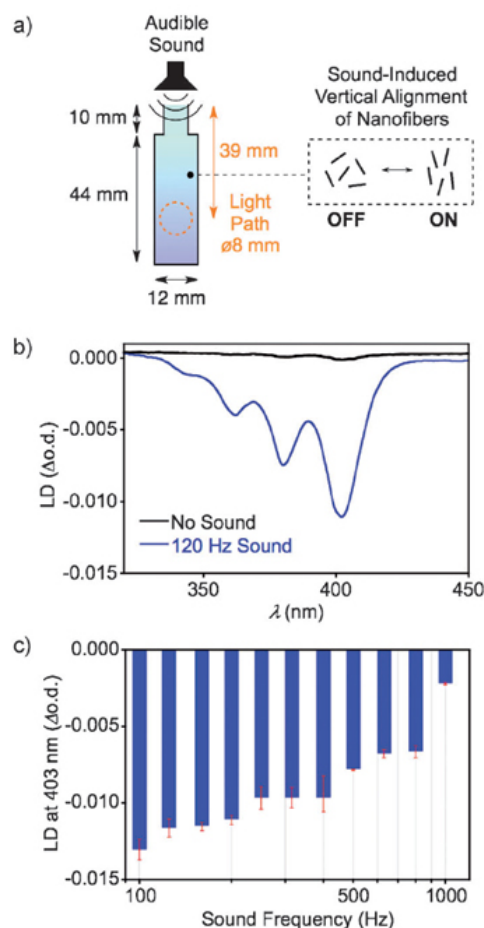


Рис. 2. Регистрация ЛД спектров нановолокон при воздействии звуковой волны. а – Схема измерений и вертикального выстраивания волокон; б – ЛД спектры нановолокон в н-гексане при воздействии звука 120 Гц (31.6 Па) и без звука; с – изменение ЛД интенсивности при  $\lambda = 403$  нм в зависимости от частоты звука.

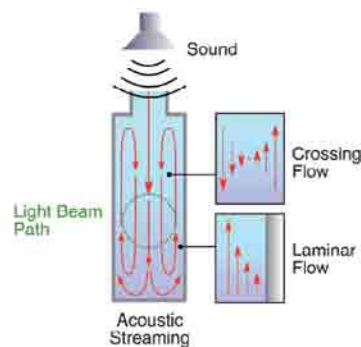


Рис.3. Схема формирования акустических течений в жидкости под действием звуковой волны. Справа показаны градиенты скоростей, возникающие из-за пересечения встречных потоков и трения ламинарного потока вблизи стенки кюветы.

Самые эффективные результаты были получены авторами работы [1] “под музыку”. Исследователи выбрали первую часть симфонии №5 Бетховена и первую часть не менее знаменитой симфонии №40 Моцарта (использовали записи на CD дисках). ЛД-спектры снимали при  $\lambda = 403$  нм. Нановолокна выстраивались и релаксировали в согласии с музыкой, быстро реагируя на звуки и тишину, амплитуду и частоту звуковой волны (рис. 4). Например, начальные такты симфонии №5 Бетховена (известные как “судьба стучится в дверь”) вызывают появление больших ЛД пиков на 11 и 14 с, а в тихой части экспозиции (диапазон 60-75 с) ЛД сигнал отсутствует. Резкие и частые изменения ЛД интенсивности

в коде (диапазон 395-500 с) отражают чрезвычайно живой характер музыки (рис. 4а). Более длинные волокна, полученные при концентрации  $[AN] = 8.3 \cdot 10^{-5} M$ , медленнее выстраиваются и релаксируют в растворе. Это приводит к уширению ЛД-пиков (рис. 4а внизу).

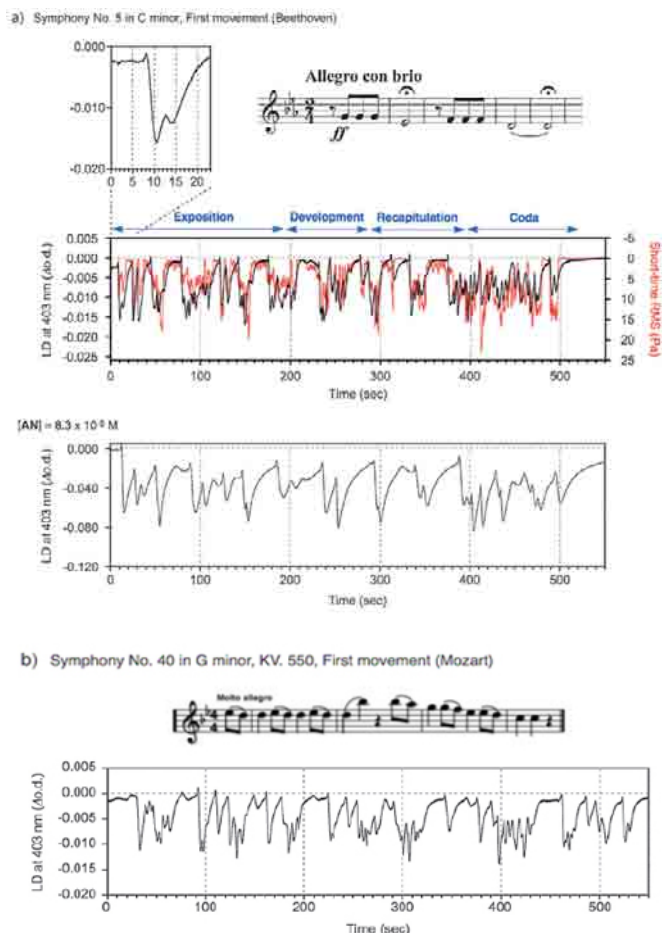


Рис. 4. ЛД-спектры, отражающие динамическое акустическое ориентирование нановолокон во время звучания музыки ( $25^{\circ}C$ ,  $[AN] = 4.2 \cdot 10^{-5} M$ ). Кривая красного цвета на рис. 4а представляет среднеквадратичные значения, соответствующие звуковой мощности на временных отрезках 1 с (полоса пропускания 100-1000 Гц). *Exposition, development, recapitulation, coda* (экспозиция, разработка, реприза, кода) – музыкальные термины, означающие разделы музыкальной формы.

О благотворном влиянии классической музыки на всё живое – растения, животных, человека, написано много популярных и научных статей. Хорошо известен “эффект Моцарта” – считается, что его музыка улучшает деятельность мозга, облегчает состояние при болезнях Альцгеймера и Паркинсона. В недавнем обзоре [2] приводится много примеров, подтверждающих важность использования музыкотерапии для восстановления здоровья. Теперь японские ученые показали, что классическая музыка важна и для развития новых акустических нанотехнологий. Возможно, полученные результаты помогут в дальнейшем создавать наноматериалы, обладающие высокой чувствительностью к слышимому звуку и даже управляемые звуком молекулярные наномашинки.

1. R. Miura et al., *ChemPlusChem.*, published online: 7 Jan 2014; doi:10.1002/cplu.201300400
2. J. Strzemecka. *J. of Pre-Clinical and Clinical Research* 7, 19 (2013).

## СНОВА К ОСНОВАМ

### Дипольный момент электрона

Электрон принято считать “точечной”, то есть не имеющей размеров частицей. Если заряд электрона действительно сконцентрирован в одной точке, то его дипольный момент  $d_e$  равен нулю. Однако некоторые расширения стандартной модели элементарных частиц предсказывают конечную, хотя и очень маленькую величину  $d_e$ . Для определения  $d_e$  требуются огромные электрические поля  $\sim 100$  ГВ/см. Такие поля имеются внутри полярных молекул, например ThO. Они и были использованы авторами статьи [1] (США, Канада), которые в изящном эксперименте смогли найти верхнюю границу  $d_e \approx 10^{-28}$  е·см. Это на три порядка меньше, чем предыдущие данные, но сильно не дотягивает до теоретической оценки  $d_e < 10^{-38}$  е·см. Работа [1] примечательна тем, что очередные сведения о свойствах материи получены не на огромном ускорителе, а в обычной лаборатории “на столе”.

1. J. Baron et al., *Science* 343, 269 (2014).

## ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

### Из чего же сделана шаровая молния?

Спектральный анализ давно стал для ученых чем-то вроде сверхчувства, заменяющего химические рецепторы в живой природе. С его помощью находят ничтожные примеси элементов, определяют химический состав далеких космических объектов.

Между тем, для шаровой молнии – явления, о котором имеется множество свидетельств очевидцев (а в последнее время, с распространением автомобильных регистраторов, и видеороликов в сети) спектр в естественных условиях до сих пор зарегистрирован не был. Это впервые удалось сделать китайским ученым [1].

Летом 2012 г. на тибетском плато они проводили исследования спектрального состава разрядов “облако-земля”, когда по счастливому стечению обстоятельств в поле зрения двух бесщелевых спектрографов попала шаровая молния. В результате в распоряжении ученых оказались видео- и аудиозапись явления, длившегося чуть больше полутора секунд.

На рисунке 1а) представлен первый из 82 кадров видеозаписи, в котором видны спектры первого и второго порядков обычной и шаровой молний в момент зарождения последней. Шаровая молния занимает небольшую часть кадра, и ее не сразу можно заметить, но на последующих кадрах, после

грозового разряда, изображение и спектр шаровой молнии на темном фоне видно отчетливо.

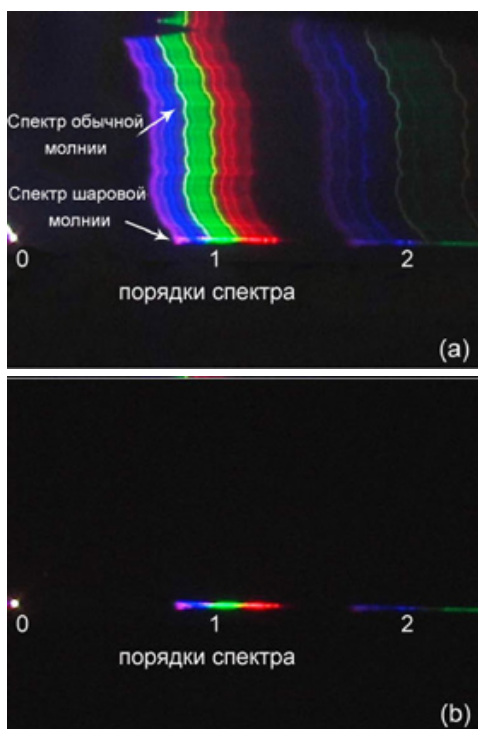


Рис. 1. Изображение и спектры двух порядков для обычной и шаровой молний в бесщелевом спектрографе: *a* – обычная и шаровая молния, *б* – шаровая молния [1].

Для обычной молнии характерен линейчатый спектр, в котором представлены в основном линии излучения азота, в то время как спектр шаровой молнии ближе к непрерывному, с большим количеством линий железа, кремния и кальция. Это подтверждает самое, что ни на есть “земное” происхождение объекта, будоражившего воображение людей не одно столетие. В заметке [2], комментирующей эти результаты, приводятся мнение, которое высказал Martin Uman из Univ. of Florida: in Gainesville (США). “по-видимому, она сделана из грязи”, поскольку именно эти элементы доминируют в почве.

Еще одной любопытной особенностью свечения шаровой молнии являются осцилляции ее интенсивности с периодом 10 мс, что исследователи связывают с вездесущими 50 Гц: недалеко от места удара находится высоковольтная линия электропередач, и переменное электромагнитное поле от нее могло вызвать модуляцию излучения шаровой молнии на второй гармонике.

А. Пятаков

1. J. Cen et al., *Phys. Rev. Lett.* **112**, 035001 (2014).
2. P. Ball, *Physics* **7**, 5 (2014).

## СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

### Контроль влияния напряжений и эффект Яна-Теллера

Перовскитоподобные кобальтиты лантана  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$  по структуре и по многим магнитным и транспортным свойствам аналогичны манганитам  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ . По мере роста допирования в обеих системах появляется ферромагнитная фаза; природа ферромагнетизма связывается с механизмом двойного обмена. Однако у кобальтитов есть очень важное отличие, связанное с близостью энергетических уровней ионных состояний  $\text{Co}^{+3}$  с высоким (HS) и низким (LS) спинами. В недопированном кобальтите уровень HS лежит всего на 0.01эВ ниже уровня LS, что обеспечивает тепловое заселение HS практически при всех температурах. В моделях двойного обмена для манганитов и кобальтитов косвенное взаимодействие связано с перескоком  $e_g$ -электрона. В частности, для кобальтитов это перескоки между  $\text{Co}^{+3}$  HS ( $4t_{2g}$ ,  $2e_g$ ) и  $\text{Co}^{+4}$  с промежуточным (IS) значением спина ( $4t_{2g}$ ,  $e_g$ ). Другой важной чертой всех перовскитоподобных оксидов переходных металлов (купраты, манганиты, кобальтиты и пр.) является сильная катион-анионная  $d-p$  гибридизация, обеспечивающая заметный перенос заряда с катиона на кислород. Поэтому структурные искажения  $\text{CoO}_6$  октаэдров могут оказывать заметное влияние на формирование магнитных свойств и электронной структуры этих сильно коррелированных соединений. Эта связь была недавно детально изучена группой исследователей [1] из Карлсруэ (Германия) на примере пленок  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{CoO}_3$  (LSCO) толщиной 40 нм, полученных методами лазерной абляции на подложки с различной степенью несоответствия параметров решетки. Пленки осаждали на  $\langle 001 \rangle$  грани  $\text{LaAlO}_3$  (LAO),  $(\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3})(\text{Al}_{0.65}\text{Ta}_{0.35})\text{O}_3$  (LSAT) и  $\text{SrTiO}_3$  (STO). Параметры решетки и напряжения анализировали с помощью рентгеновской дифракции (XRD). Магнитные свойства измеряли с помощью СКВИДа. Электронные состояния и орбитально-чувствительную магнитометрию исследовали с помощью рентгеновских спектров поглощения (XAS) и магнитного кругового дихроизма (XMCD), которые измеряли вблизи кислородного O K-края поглощения при температуре 20K в магнитном поле 7Т на рабочей станции WERA синхротрона ANKA в Карлсруэ.

Псевдокубический параметр решетки объемного LSCO равен  $a_0=0.3822$  нм. Напряжения, вызванные несоответствием параметров пленки ( $a_0$ ) и подложки ( $a$ ), проявляются в компоненте тензора  $\epsilon_{xx}=(a - a_0)/a_0$ . Для подложки LAO пленка сжимается, так как  $\epsilon_{xx} < 0$ . Напротив, для подложек LSAT и STO ( $\epsilon_{xx} > 0$ ) напряжения вызывают локальные расширения (эффект отрицательного давления). На рис. 1 показаны спектры XAS и XMCD для двух геометрий эксперимента: нормальное и скользящее падение.



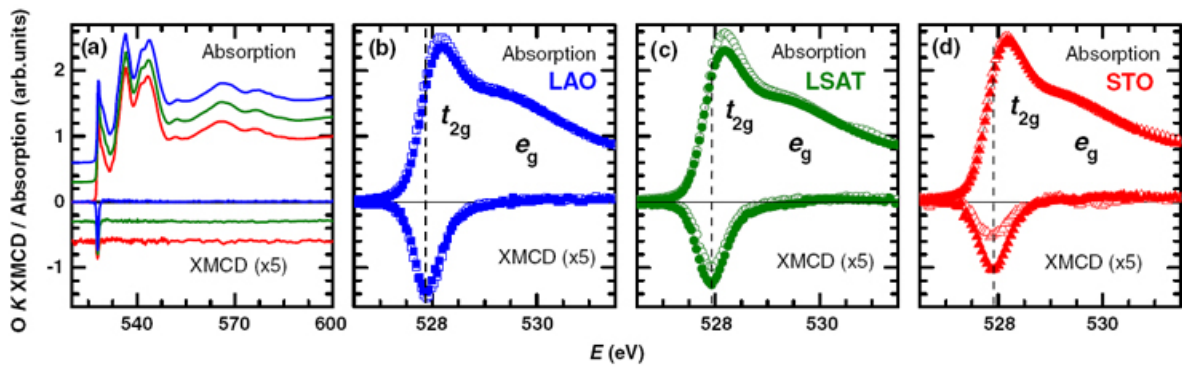


Рис. 1. Рентгеновские спектры поглощения и дихроизма вблизи кислородного К-края поглощения при 20К на разных подложках LAO, LSAT, STO сверху вниз на (а), и слева направо на (b)-(d) (спектры дихроизма при нормальном падении показаны светлыми символами, при скользющем – темными.).

Пики в спектре поглощения около 528эВ связаны с незаполненными кислородными  $2p$  состояниями, гибридованными с катионными  $3d$   $t_{2g}$  и  $e_g$ -электронами. Между тем в спектре XMCD преобладает только один пик, обусловленный  $t_{2g}$  состояниями. Поскольку для внутреннего  $1s$  уровня спин-орбитальное взаимодействие равно нулю, спектры XMCD вблизи О К-края поглощения отражают только орбитальный момент и не чувствительны к спиновому моменту. Таким образом, из данных XAS и XMCD следует, что именно  $t_{2g}$  электрон переносит вследствие гибридизации орбитальный момент с Co на O, обеспечивая тем самым двойной обмен между  $Co^{+3} HS$  и  $Co^{+4} HS$  состояниями. Этот механизм обмена оказывается преобладающим над классическим, обусловленным переносом  $e_g$ -электрона.

Из параболической зависимости температуры Кюри от напряжений следует, что кроме изотропных объемных деформаций, в пленке присутствует одноосное ян-теллеровское искажение. Поскольку  $Co^{+3} LS$  ( $6t_{2g}, 0e_g$ ) и  $Co^{+4} HS$  ( $3t_{2g}, 2e_g$ ) – не ян-теллеровские ионы, единственным вариантом для ян-теллеровских искажений с участием  $t_{2g}$  состояний остается  $Co^{+3} HS$  ( $4t_{2g}, 2e_g$ ), который обеспечивает наблюдаемую магнитную анизотропию и подтверждает выводы XMCD о преобладающем характере  $t_{2g}$  переноса и вклада в двойной обмен в LSCO.

С. Овчинников

1. D.Fuchs et al., *Phys. Rev. Lett.* **III**, 257203 (2013).

## КОНФЕРЕНЦИИ

*The New Generation in Strongly Correlated Electron Systems (NGSCES) 2014, June 16-20 2014 Nice, France*

Topics

- **Quantum Materials** (Superconductivity, Complex Materials, Topological Phases,)
- **Engineered Correlations** (Surfaces, Interfaces, Heterostructures, Nanostructures,)
- **Non-equilibrium Dynamics** (Pump-probe Spectroscopies, Dynamics of Ultra-Cold Gases,)

The deadline for abstract submission is **March 17th, 2014**

E-mail: [organizers2014@conference.ngsces.org](mailto:organizers2014@conference.ngsces.org)

Web: <http://conference.ngsces.org/2014/>

*7th International Conference on Chaotic Modeling, Simulation and Applications (CHAOS2014), 7-10 June 2014, Lisbon, Portugal*

The principal aim of Chaos2014 International Conference is to expand the development of the theories of the applied nonlinear field, the methods, empirical data and computer techniques as well as the best theoretical achievements of chaotic theory. Chaos2014 Conference provides a forum for bringing together the various groups working in the area of Nonlinear Systems and Dynamics, Chaotic theory and Application to exchange views and report research findings.

E-mail: [secretariat@cmsim.org](mailto:secretariat@cmsim.org)

Web: <http://www.cmsim.org>

***The International Conference "Piezoresponse Force Microscopy and Nanoscale Phenomena in Polar Materials" (PFM-2014) and International Youth Conference "Functional Imaging of Nanomaterials", July 14-17, 2014, Ekaterinburg, Russia***

*Topics*

1. Instrumental aspects of PFM, ESM, KPM, SNOM, and related techniques as applied to functional nanomaterials
2. Ferroelectrics, piezoelectrics, and ionic conductors on the nanoscale
3. Multiferroic phenomena and magnetoelectric coupling on the nanoscale
4. Disordered ferroelectrics, domains, and mesoscopic effects
5. Ferroelectric data storage and polarization lithography
6. Ferroelectric photovoltaics and tip-enhanced phenomena
7. Interface and domain engineering
8. Biocompatible & organic polar materials on the nanoscale
9. 1D and 2D nanostructured materials
10. Theory and modeling

Abstract submission deadline for PFM-2014 is **March 1, 2014**

Web: <http://labfer.ins.urfu.ru/pfm-2014/>

***International Conference on Diamond and Carbon Materials 2014, 7-11 September 2014, Melia Castilla, Madrid, Spain***

*Topics:*

This conference will present the latest research on the growth, fundamental aspects of the properties and structure of carbon- and diamond-based materials as well as their application spanning nanoelectronics, quantum computing, electrochemistry and biotechnology. Topics will include:

- CVD growth of diamond and production and properties of nano-crystalline of diamond
- Utilization of quantum effects for quantum computing, magnetometry and cryptography based on single defects
- New developments and applications of carbon allotropes for bio- and environmental sensing
- Manufacturing of pn and pin-junctions for deep UV-LEDs and power devices by way of progress in growth and doping of diamond
- Growth of graphene and CVD of carbon nanotubes
- Use of carbon nanotubes in electronics, supercapacitors and batteries
- Applications of nano-diamond in drug delivery
- Use of graphene in displays, RF electronics, supercapacitors, batteries, electrochemical and biochemical sensing as well as metal-replacement in power devices

**Important Dates**

Abstract Submission Deadline - **24 March 2014**

Web: <http://www.diamond-conference.elsevier.com/>

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

Главный редактор: И.Чугуева, e-mail: [irina@issp.ras.ru](mailto:irina@issp.ras.ru)

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О.Алексеева, А.Елецкий,  
М.Маслов, С.Овчинников, Л.Опенев, Ю. Праздников, А.Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64<sup>а</sup>