

В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### Сверхпроводимость многослойных пленок FeSe

Недавнее открытие сверхпроводимости монослоя безмедного ВТСП FeSe при  $T_c \approx 65$  К стало довольно неожиданным, поскольку в объемных образцах FeSe величина  $T_c$  не превышает 10 К. Причина столь высокой  $T_c$  монослоя заключается в резком увеличении концентрации электронов  $n_e$  из-за наличия кислородных вакансий на поверхности подложки SrTiO<sub>3</sub>. В работе [1] для изменения  $n_e$  предложен другой подход – осаждение атомов калия на поверхность многослойных пленок FeSe. Оказалось, что зависимость  $T_c$  от  $n_e$  имеет куполообразный вид (рис. 1), как и во многих других системах ВТСП.

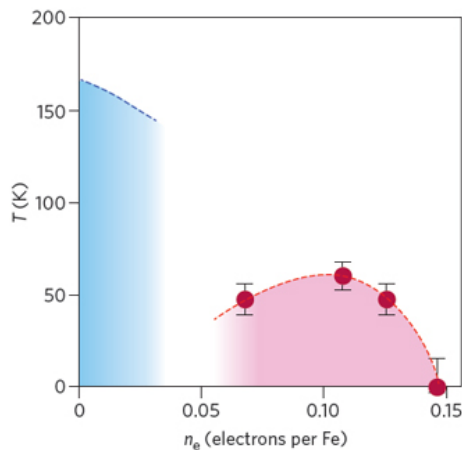


Рис. 1. Фазовая диаграмма FeSe в координатах температура – концентрация электронов. Красным и синим цветами показаны области сверхпроводящего и антиферромагнитного порядка, соответственно.

При этом у допированных калием многослойных пленок топология поверхности Ферми такая же, как у монослоя (рис. 2).

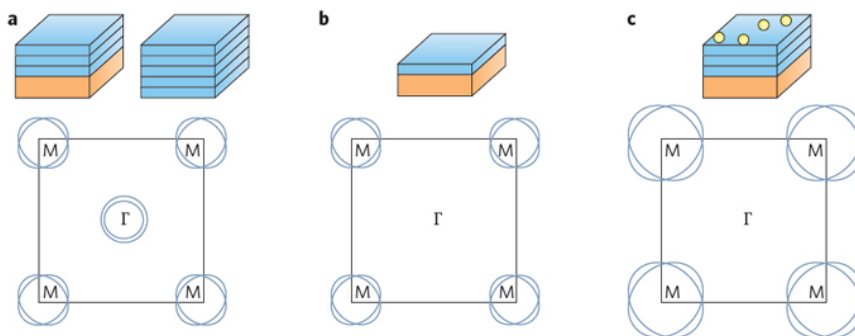


Рис. 2. Схематическое изображение поверхности Ферми FeSe в: а – объемном образце и трехслойной пленке; б – монослое; с – трехслойной пленке с осажденными на нее атомами калия. Синим цветом изображены слои FeSe, оранжевым – подложка SrTiO<sub>3</sub>, желтым – атомы К.

Как отмечено в работе [2], всю совокупность экспериментальных данных трудно объяснить в рамках и фононного, и спин-флуктуационного механизмов спаривания. А что же тогда? Загадка...

Л.Опенев

1. Y.Miyata et al., *Nature Mater.* **14**, 775 (2015).
2. I.I.Mazin, *Nature Mater.* **14**, 755 (2015).

И далее ...

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 2 Магنون и кубит

Странный металл вдали от критических флуктуаций

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАОЭЛЕКТРОНИКА

- 2 Нанопокрывание на ветровых стеклах самолетов для защиты от “лазерных атак”
- 4 Транзистор из одной молекулы

## ФОТОНИКА

- 4 Микрочастицы самоорганизуются в фотонные кристаллы

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 5 Как заставить кубиленовые цепочки проводить
- 6 Фуллерены-астронавты

## КОНФЕРЕНЦИИ

- 6 Международная зимняя школа “Материалы для энергетики и защиты окружающей среды” (“Materials for Energy and Environmental Technologies”), 14 - 18 декабря 2015 г., МИФИ, Москва, Россия
- 5th International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM2016), 24 - 30 April 2016, Fethiye/Blue Lagoon, Turkey
- 7 SPIE Photonics Europe 2016, 4 - 7 April 2016, Brussels, Belgium

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### Магнон и кубит

Магноны – это кванты коллективных спиновых возбуждений в магнитоупорядоченных материалах. В работе [1] экспериментально продемонстрировано когерентное взаимодействие одномагнонного возбуждения в ферромагнитном монокристалле миллиметровых размеров со сверхпроводниковым кубитом транзмонного типа (с двухуровневой системой из двух джозефсоновских переходов, образующих микро-СКВИД), см. рис. 1.

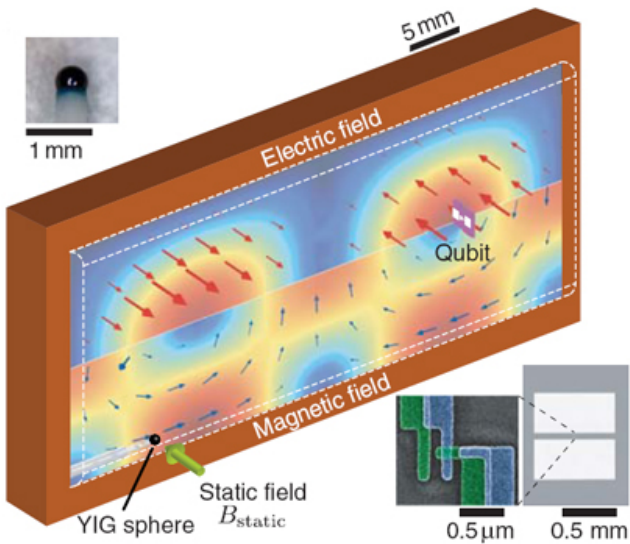


Рис. 1. Гибридная кубит-магнонная квантовая система в СВЧ-резонаторе.

Это взаимодействие осуществляется при посредничестве виртуального фотона (рис. 2). Возможность контроля одиночных магнонов может пригодиться в квантовой информатике.

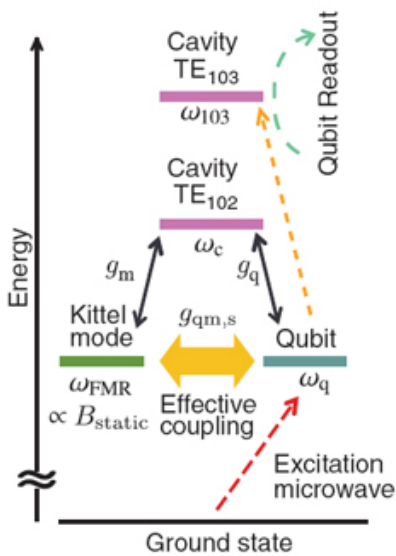


Рис. 2. Схема энергетических уровней магнона, кубита и СВЧ-резонатора. Кубит взаимодействует с электрическим полем резонансной фотонной моды, а магнон – с магнитным полем этой же моды.

1. Y.Tabuchi et al., Science 349, 405 (2015).

### Странный металл вдали от критических флуктуаций

В некоторых металлах наблюдаются качественные отклонения от предсказаний теории фермижидкости Ландау (например, температурная зависимость удельного сопротивления  $\rho$  при низкой температуре существенно отличается от квадратичной). Такие металлы называют странными. Принято считать, что причиной их необычных свойств является рассеяние носителей заряда на квантовых флуктуациях в окрестности квантового фазового перехода. Но недавно в работе [1] нефермижидкостная зависимость  $\rho \sim T^{1.5}$  была обнаружена в нормальном состоянии тяжелофермионного сверхпроводника  $\beta\text{-YbAlB}_4$  в диапазоне давлений  $0 < P < 0.4$  ГПа, далеко отстоящем от критической точки при  $P = 2.5$  ГПа и отделенном от нее областью обычной фермижидкости с  $\rho \sim T^2$ . Авторы считают, что нефермижидкостное поведение  $\beta\text{-YbAlB}_4$  связано не с нарушением симметрии при квантовом фазовом переходе, а с каким-то другим типом электронной неустойчивости.

1. T.Tomita et al., Science 349, 506 (2015).

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

### Нанопокрывтие на ветровых стеклах самолетов для защиты от “лазерных атак”



Один из первых случаев лазерных атак с целью отвлечь или временно ослепить летчиков относится к Фолклендской войне 1982 г., когда британские войска использовали лазерные системы против самолетов Аргентины [1]. С начала 1990-х годов в разных странах мира начали регистрировать случаи “лазерного хулиганства”, направленного на гражданские самолеты. Количество их резко растет, в том числе и в России (в 2014 г. было зафиксировано более 10 случаев, в апреле этого года хулиганы пытались ослепить пилотов при посадке пассажирских самолетов в Волгограде и Саранске). Только в США в 2013 г. было зарегистрировано 3960 попыток ослепить летчиков (для сравнения – 384 случая в 2006 г.) [2]. Для борьбы с хулиганами в разных странах создают специальные подразделения, ужесточают наказание (вплоть до тюремного заключе-

ния), вводят запрет на продажу лазерных указок повышенной мощности. В России законопроект об уголовной ответственности для “лазерных хулиганов” был внесен в Госдуму еще в 2011 г., но, по видимому, до сих пор не принят. Покончить с “лазерными хулиганами”, конечно, сложно, а в ближайшее время просто невозможно. Поэтому так важны научные разработки, способные ослабить воздействие лазера на глаза пилотов. Один из вариантов – использование различных защитных очков, козырьков со специальными светофильтрами, блокирующими излучение распространенных зеленых лазерных указок (длина волны 532 нм). Однако такие устройства могут ухудшать видимость (особенно при ночных полетах), ослаблять определенные цвета и тем самым мешать различать сигнальные огни аэродрома или показания приборов в кабине.

Исследователи из Lewis Univ., США (химики, физики и специалисты в области авиации) предложили другой подход – наносить светочувствительные нанокompозитные покрытия на ветровое стекло кабины [2]. Основа синтезированных нанокompозитов – квантовые точки CdS, закрепленные на частицах TiO<sub>2</sub>. В материал были дополнительно введены органические лиганды, усиливающие поглощение лазерного излучения определенной длины волны. Для получения прозрачного покрытия дисперсию наночастиц в растворе поливинилового спирта (ПВС) наносили на ветровые стекла от Boeing 737 и проводили термообработку. На рис. 1 показаны 4 образца – контрольный из чистого ПВС и А, В, С с разной концентрацией наночастиц (концентрация растет от А к С).

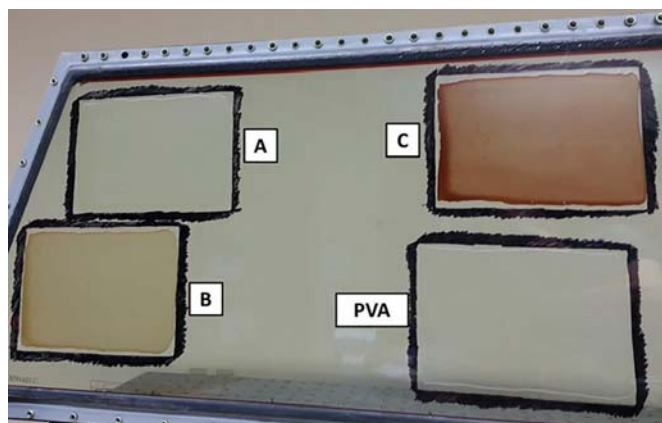


Рис. 1. А, В, С - пленки с разной концентрацией наночастиц на ветровом стекле Boeing 737. PVA=ПВС, контрольный образец

Были проведены лабораторные и полевые испытания с использованием Nd:YAG зеленого лазера (длина волны 532 нм, мощность 20 мВт) и синего лазера (длина волны 447 нм, мощность 20 мВт). Для полевых испытаний лазеры были установлены на расстоянии ~ 60 и 150 м. На рис. 2 приведены величины мощности (мВт/см<sup>2</sup>) света, проникшего “в кабину” через ветровое стекло и через 4 образца пленок, покрывающих стекло.

*Перст, 2015, том 22, выпуск 15/16*

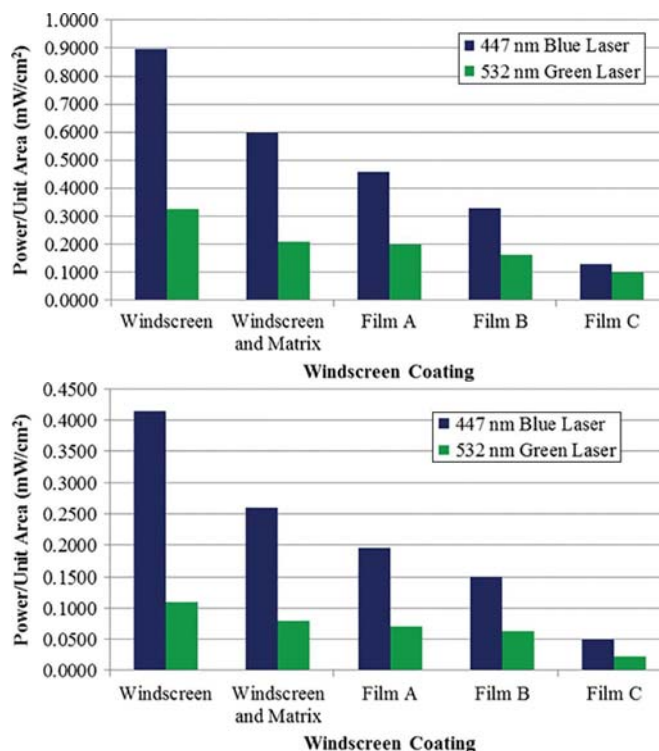


Рис. 2. Влияние нанокompозитных пленок на мощность синего и зеленого лазерного излучения. Вверху – для расстояния 60 м, внизу – для 150 м.

Считается, что повреждение глаз происходит при уровне воздействия 2.54 мВт/см<sup>2</sup>; к ослеплению вспышкой приводит 0.1 мВт/см<sup>2</sup> [2]. Как видно на рис. 2, наличие покрытий заметно снижает риск ослепления. Для образца С при расстоянии 60 м мощность на единицу площади равна или чуть превышает 0.1 мВт/см<sup>2</sup>, а при расстоянии 150 м для обоих лазеров она заметно ниже порога ослепления.

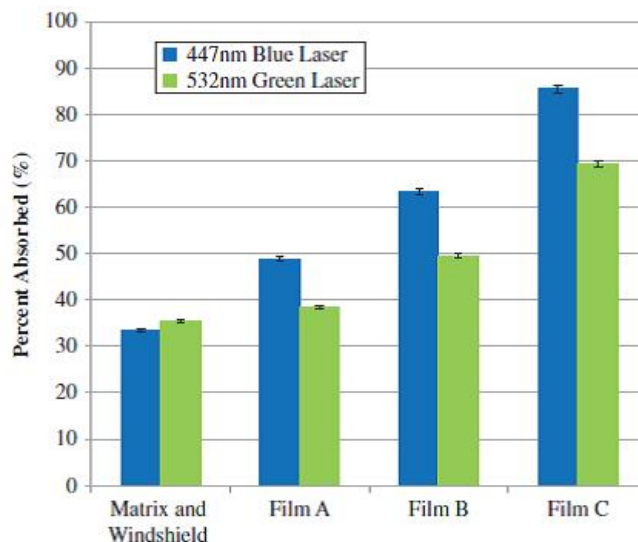


Рис. 3. Поглощение синего и зеленого излучения при прохождении через покрытия на стекле.

Интенсивность лазерного излучения благодаря применению покрытий снижается на 36-88% (рис. 3).

Для повышения эффективности покрытий следует провести дополнительные исследования влияния состава нанокompозита. Далее, важно убедиться,

что покрытия не ухудшают видимость и не снижают способность пилотов распознавать цвета. Безусловно, также необходимо оценить, как влияют реальные условия полета (температура, излучение) на долговечность покрытия.

О.Алексеева

1. B.Anderberg et al., *J. Peace Research* **29**, 287 (1992).
2. R.S.Phillips et al., *J. Aviation Techn. Eng.* **4**, 49 (2015).

### Транзистор из одной молекулы

Проводимость нанометровых транзисторов чувствительна даже к перескокам отдельных электронов с одной атомной орбитали на другую. Для ее контроля требуются электрические затворы соответствующих размеров. В работе [1] (Германия, США, Япония) изготовлены транзисторы из одиночных молекул фталоцианина  $H_2Pc$  или медь-замещенного фталоцианина  $CuPc$  (их структура проиллюстрирована на рис. 1) на подложке  $InAs$ , у которых функцию таких затворов выполняли ионизированные адатомы  $In^+$ .

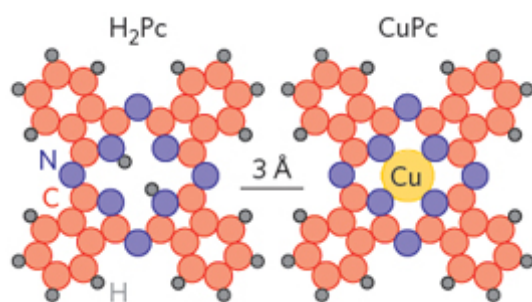


Рис. 1. Структура молекул  $H_2Pc$  и  $CuPc$ .

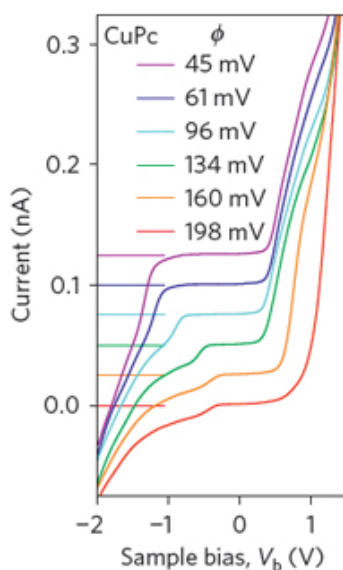


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики молекулярных транзисторов.

“Сборка” этих транзисторов с субангстремной точностью осуществлялась при помощи сканирующего туннельного микроскопа. Атомарные затворы кон-

тролируют зарядовое состояние молекулы и сдвигают молекулярные орбитали относительно уровня Ферми. Авторам удалось настроить свои транзисторы в режим одноэлектронного туннелирования и измерить ВАХ (рис. 2). Наличие у молекул двух конформаций с различной ориентацией приводит к новым специфическим эффектам.

1. J.Martinez-Blanco et al., *Nature Phys.* **11**, 640 (2015).

### ФОТОНИКА

#### Микрочастицы самоорганизуются в фотонные кристаллы

Как известно, жидкокристаллические ячейки мониторов используют свойство молекул упорядочиваться, причем в тонком слое жидкого кристалла это направление можно задавать микрорельефом подложки. Любопытно, что похожим свойством к упорядочению обладают микрочастицы, зажатые между двух пластин. Такую систему для случая заряженных частиц продолговатой формы исследовала группа из Utrecht Univ. (Нидерланды) [1].

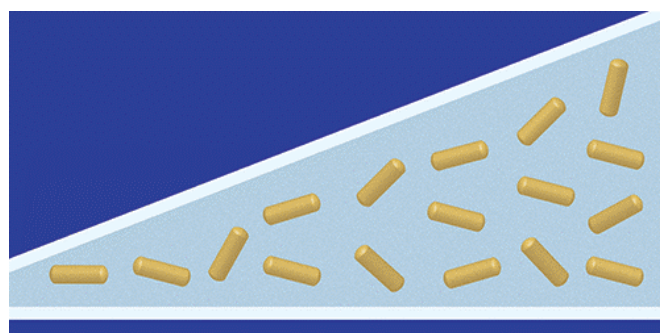


Рис. “Кристаллические” структуры из взвешенных микро-частиц в клиновидной полости: ширина клиновидного зазора увеличивается от 8 мкм (продольный размер микро-частиц) до 40 мкм [2].

Для исследования влияния толщины слоя на характер упорядочения ученые использовали клиновидную полость с заряженными стенками (см. рис.), в которой во взвешенном состоянии находились частицы диоксида кремния. В зависимости от толщины кристаллический порядок сменялся с гексагонального на кубический, потом на ромбоэдрический и снова в той же последовательности. Подобным же образом происходит чередование упорядочений и для взвешенных сферических частиц, но в данном случае была специфика, связанная с ориентацией частиц: в “одноатомном” слое частицы ориентировались параллельно пластинам (несмотря на то, что расстояние до них было достаточно большим для разворота частицы). По мере увеличения зазора ориентация частиц становилась хаотичной, пока частицы не принимали вертикальное положение. Затем при дальнейшем росте промежутка между пластинами эта последовательность повторялась (как только расстояние между стенками прирастало на величину достаточную для размещения еще од-

ного слоя), но с каждым разом во все менее выраженной форме.

Данное явление представляет не только академический интерес. На этом принципе могут быть построены фотоннокристаллические структуры, анизотропно рассеивающие свет и управляемо меняющие цвет в зависимости от толщины слоя.

А. Пятаков

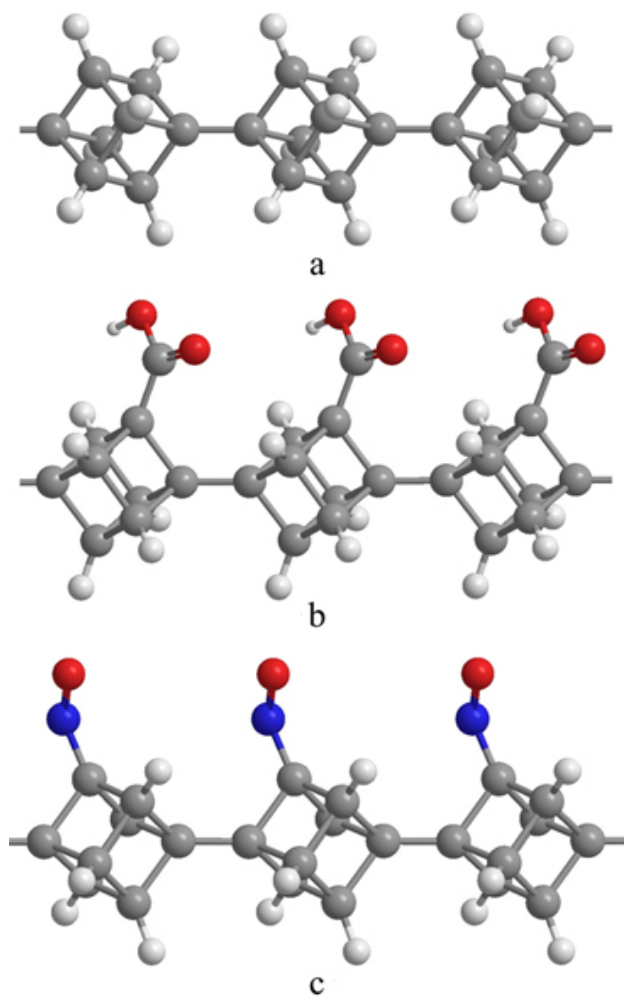
1. Bing Liu et al., *Phys. Rev. Lett.* **115**, 078301 (2015).

2. <http://physics.aps.org/synopsis-for/10.1103/PhysRevLett.115.078301>

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

### Как заставить кубиленовые цепочки проводить

Кубиленовые цепочки представляют собой квазиодномерные наноструктуры, построенные из фрагментов на основе кубана  $C_8H_8$ , в которых один или несколько атомов водорода замещены различными функциональными группами (см. рис.).



Фрагменты различных кубиленовых цепочек: недопированная “чистая” цепочка (а),  $COOH$ -допированная цепочка (b) и цепочка, допированная  $NO$  функциональными группами (с)

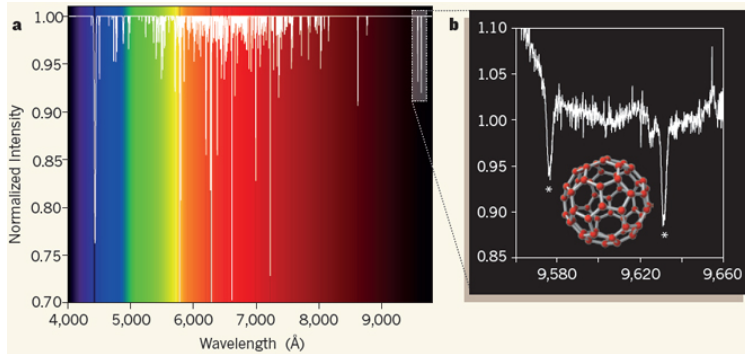
Среди возможных применений подобных систем озвучивается их использование в качестве строительных блоков жидкокристаллических соединений и нанопроводов. Последнее особенно актуально в контексте современных трендов миниатюризации электроники. Однако теоретические расчеты предсказывают, что, к сожалению, незамещенные “чистые” кубиленовые цепочки оказываются диэлектриками с широкой запрещенной зоной, что, несомненно, затруднит их внедрение в элементную базу будущих приборов и устройств. Возможно в дальнейшем это препятствие удастся обойти посредством функционального допирования. Авторы работы [1] при помощи компьютерного моделирования продемонстрировали, что электронные свойства кубиленовых цепочек, такие как величина диэлектрической щели и проводимость, сильно зависят от функциональных групп, ковалентно связанных с цепочкой и замещающих атомы водорода (см. рис.). Все расчеты исследователи выполняли в рамках теории функционала плотности (DFT) и специально разработанной модели сильной связи (NTBM), используя формализм Ландауэра–Бюттикера. Перебирая различные  $H-C-N-O$  радикалы, они пришли к интересным выводам. Оказалось, что только одновалентные химические группы способны сохранять кубическую форму фрагментов цепочки, любые другие понижают устойчивость углеродного остова, что приводит к его разрушению. Кроме того, становится возможной настройка энергетической щели образцов посредством выбора необходимого допанта: функциональная группа способна значительно влиять на ширину щели, превращая диэлектрик в узкозонный полупроводник. Например, в рамках NTBM подхода, у  $NO$ -допированных цепочек она составляет 0.6 эВ, тогда как у незамещенных образцов – 4.8 эВ. Авторы отмечают, что добавление дополнительных функциональных групп позволяет еще немного уменьшить щель. Так, присоединение еще одного  $NO$ -радикала понижает ее до 0.5 эВ, но последующее допирование дестабилизирует кубиленовые фрагменты и разрушает цепочку. Хотя авторам и не удалось добиться чистой “металличности”, заставив диэлектрическую щель полностью исчезнуть, возможно это получится сделать путем подбора других (не только  $H-C-N-O$ ) радикалов, или посредством внедрения дополнительных молекулярных мостиков между кубиленовыми фрагментами цепочки. В любом случае, возможность тонкой настройки электронных свойств кубиленовых цепочек открывает многообещающие перспективы их применения в современной нанoeлектронике.

М. Маслов

1. K.P.Katin et al., *Adv. Condens. Matter Phys.* **2015**, 754873 (2015).

## Фуллерены-астрономы

В спектрах поглощения излучения межзвездной среды имеется более 400 так называемых “диффузных межзвездных зон”, причина появления которых до сих пор не ясна. В работе [1] (Швейцария, Германия) их число удалось уменьшить на две: лабораторные исследования показали, что зоны при длинах волн 9577 и 9632 Å обязаны своим происхождением положительно заряженным ионам фуллере-на C<sub>60</sub> (см. рис.).



Спектры поглощения излучения межзвездной среды (а) и ионов C<sub>60</sub><sup>+</sup> (b).

Согласно оценкам, около 0.6% углерода в межзвездном пространстве присутствует именно в форме этих ионов. Не исключено, что различные производные фуллеренов (например, с адсорбированным водородом) могут иметь отношение к какому-то из зон, остающихся пока не опознанными.

*I. E.K.Campbell et al., Nature 353, 322 (2015).*

## КОНФЕРЕНЦИИ

**Международная зимняя школа “Материалы для энергетики и защиты окружающей среды” (“Materials for Energy and Environmental Technologies”), 14 - 18 декабря 2015 г., МИФИ, Москва, Россия**

Кафедра физических проблем материаловедения и Центр ядерных систем и материалов Национального исследовательского ядерного университета (МИФИ) организует зимнюю школу “Materials for Energy and Environmental Technologies”. Основное внимание будет уделено изучению методов синтеза и исследованию свойств материалов и приборов, используемых в фотовольтаической технологии, в смартовых “умных” окнах и в защите окружающей среды. Лекции будут читать эксперты из Норвегии, Швеции, Великобритании, Эстонии, Турции, Индии, Китая и России. В зимней школе могут участвовать молодые ученые, аспиранты, студенты старших курсов и другие желающие.

Срок подачи заявки на регистрацию: до **30.10.2015**, включительно

Результаты, представленные на зимней школе, можно опубликовать в специальном выпуске “Semiconducting materials” журнала “AIMS Materials Science” <http://www.aimspress.com>

Возможны гранты на проживание и регистрацию для участников!

Желающие могут выступить со стендовым или устным докладом. Заявку на участие можно подать по ссылке: <http://agora.guru.ru/display.php?conf=M EET-2015>

**5th International Conference on Superconductivity and Magnetism, (ICSM2016), 24- 30 April, 2016 Fethiye/Blue Lagoon, Turkey**

ICSM2016 will highlight most recent advances in all major disciplines of Superconductivity, Magnetism and Functional Materials; classified mainstreams as the following:

- Superconductivity: Materials, Synthesis and Characterization
- Magnetism: Materials, Synthesis and Characterization
- Interplay of Superconductivity and Magnetism
- Large Scale and Energy Applications
- Electronic Applications
- Theory, Mechanisms and Fundamentals
- Cryogenics, Materials and Engineering
- Other Aspects of Superconductors and Magnetic Materials

*Important Dates*

Abstract Submission Deadline: **27 November, 2015**

Online Registration Open: **14 December, 2015**

Web: <http://icsm2016.org/>

***SPIE Photonics Europe 2016, 4 - 7 April 2016,  
Brussels, Belgium***

**Topics**

- Nanophotonics
- Metamaterials
- Graphene and 2D materials
- Photonic crystal materials, devices, and fibres
- Quantum Technologies
- Micro-optics
- Organic photonics
- Biophotonics and Neurophotonics
- Silicon photonics
- Photonics for solar energy systems
- Optical micro- and nanometrology
- High-power lasers, semiconductor lasers, and laser dynamics
- Multimedia applications, image, and video processing
- Optical sensing and detection, modeling, and design
- Nonlinear optics and applications

*Important Dates*

Abstract Due Date – **19 October, 2015**

E-mail: [SPIE-Photonics-Europe@reply.spie.org](mailto:SPIE-Photonics-Europe@reply.spie.org)

Web:

[http://spie.org/x12295.xml?WT.mc\\_id=REPE16BE](http://spie.org/x12295.xml?WT.mc_id=REPE16BE)

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, М. Маслов, Л. Опенов, А. Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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