

В этом выпуске:

ТОРЖЕСТВО

15 марта 2015 г. исполняется 85 лет лауреату Нобелевской премии по физике Жоресу Ивановичу Алфёрову



Вклад Жореса Ивановича в мировую науку и технику трудно переоценить. Благодаря его исследованиям появилось новое направление - физика гетероструктур и оптоэлектроника, и электроника на их основе. Открытие совершенно новых физических явлений - "суперинжекция", электронного и оптического ограничения в гетероструктурах, а также идеальных переходов в многокомпонентных соединениях InGaAsP позволили расширить спектральный диапазон работы полупроводниковых лазеров, используемых ныне

в качестве источников излучения в волоконно-оптических линиях связи повышенной дальности и создавших основу современных информационных систем.

Научный и организаторский талант Жореса Ивановича позволил создать первый в России Академический университет, реализующий образовательные программы в тесном взаимодействии с передовыми научными исследованиями, соединяющий научную школу с обучением студентов, магистров и аспирантов. За эффективность работы университета, уникальность условий процесса обучения, Академический университет, получил статус Национального исследовательского университета.

Являясь вице-президентом Российской академии наук, ректором Санкт-Петербургского Академического университета, председателем Санкт-Петербургского научного центра, депутатом Государственной думы Жорес Иванович всецело отдает свои силы и энергию на процветание российской науки.

ПОЗДРАВЛЯЕМ Жореса Ивановича Алфёрова с ЮБИЛЕЕМ!
Желаем здоровья, благополучия, творческих успехов, новых свершений и открытий!

Авторы и редакция Перста

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Сверхпроводимость однослойных пленок FeSe при температуре выше 100 К

После открытия в 2008 г. сверхпроводимости оксипниктида LaFeAsO на основе железа при $T_c = 26$ К огромные усилия были направлены на поиск новых безмедных ВТСП с еще более высокой T_c . Но максимум, чего удалось добиться при нормальном давлении - это $T_c = 56$ К в SmFeAsO, что ниже точки кипения жидкого азота и значительно уступает максимальной T_c купратов (135 К). Некоторого оптимизма добавило недавнее сообщение о наблюдении

И далее ...

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

3 Массивные дираковские фермионы на поверхности топологического кристаллического диэлектрика

Квантовая телепортация двух степеней свободы единичного фотона

Ультравысокая подвижность носителей и гигантское магнитосопротивление в дираковском полуметалле Gd_3As_2

ГРАФЕН

4 Устойчивость колонного графена

НАНОМАТЕРИАЛЫ

5 Оптические интерференционные нанопокртытия на шероховатых и гибких подложках

МУЛЬТИФЕРРОИКИ

6 Загадка усиления пьезоэлектричества в пленках феррита висмута

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

7 Прямое наблюдение перехода от непрямой к прямой запрещенной зоне в эпитаксиальных монослоях $MoSe_2$

посредством СТМ/СТС большой сверхпроводящей щели $\Delta(T = 4.2 \text{ K}) = 20.1 \text{ мэВ}$ в однослойных пленках FeSe на подложках SrTiO₃. Если предположить, что отношение $2\Delta/k_B T_c$ в пленках FeSe такое же, как и в объемных образцах FeSe с $T_c = 9.4 \text{ K}$, где оно составляет 5.5, то для пленок можно ожидать $T_c = 86 \text{ K}$. Однако выполненные разными группами измерения температурной зависимости сопротивления R показали, что $R = 0$ (главный признак сверхпроводимости) наблюдается лишь при $T < 30 \text{ K}$.

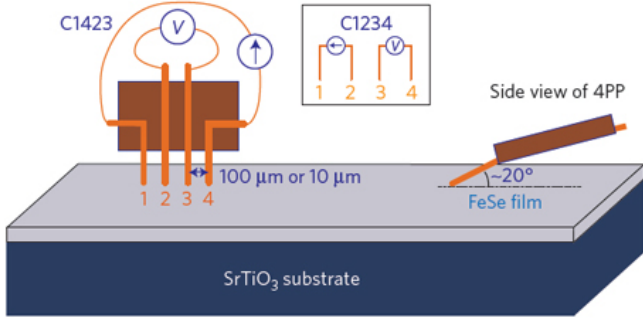


Рис. 1. Схематическое изображение устройства для четырехконтактных измерений транспортных характеристик пленок FeSe.

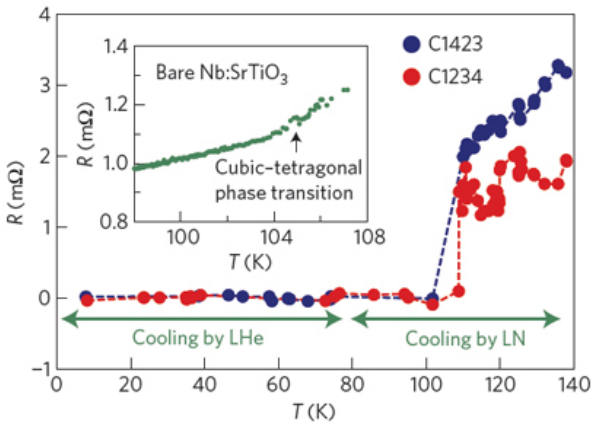


Рис. 2. Температурная зависимость сопротивления пленки FeSe.

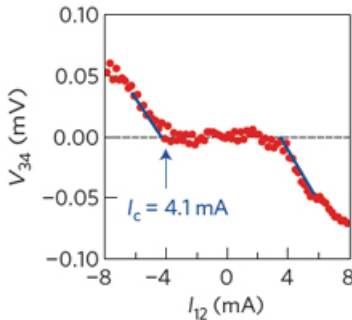


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика пленки FeSe при $T = 3 \text{ K}$.

В работе [1] (Китай, США) сообщается об *in situ* измерении $R(T)$ монослоя FeSe на легированной ниобием подложке SrTiO₃(001) стандартным четырехконтактным методом (рис. 1). Резкий сверхпроводящий переход зафиксирован при $T_c \approx 110 \text{ K}$ (рис. 2). Определенный по вольт-амперной характеристике критический ток I_c (рис. 3) соответствует критической плотности тока $j_c \approx 1.3 \cdot 10^7 \text{ A/cm}^2$ при $T = 3 \text{ K}$. Увеличение магнитного поля приводит, как и полагается, к уменьше-

нию T_c (рис. 4) и I_c (рис. 5), причем резистивный переход остается очень узким вплоть до $H = 10 \text{ Тл}$. Экстраполяция к $T = 0$ дает критическое поле $(112 \pm 16) \text{ Тл}$ (рис. 6).

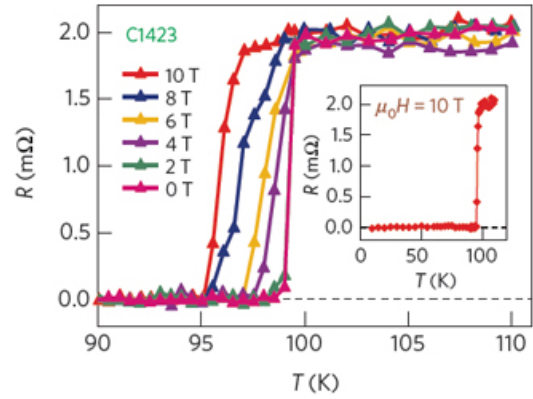


Рис. 4. Температурные зависимости сопротивления пленки FeSe в различных поперечных магнитных полях.

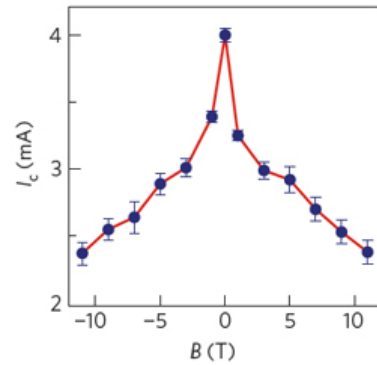


Рис. 5. Зависимость критического тока пленки FeSe от индукции поперечного магнитного поля при $T = 3 \text{ K}$.

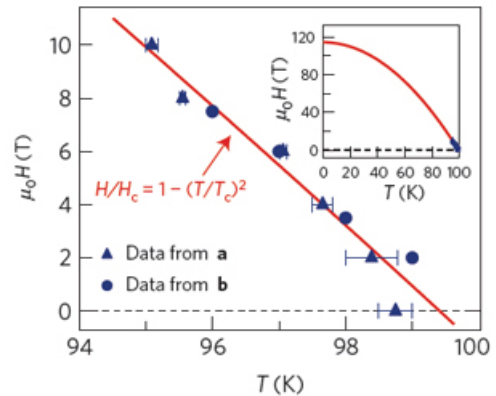


Рис. 6. Температурная зависимость поперечного критического поля пленки FeSe.

Авторы полагают, что причиной резкого роста T_c при переходе от кристаллов к ультратонким пленкам является усиление электрон-фононного взаимодействия на границе раздела пленка/подложка. Если это действительно так, то поиск новых ВТСП становится более осмысленным. И основные кандидаты здесь – искусственные тонкопленочные гетероструктуры.

Л. Опенов

1. J.-F. Ge et al., *Nature Mater.* **14**, 285 (2015).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Массивные дираковские фермионы на поверхности топологического кристаллического диэлектрика

Топологические кристаллические диэлектрики (topological crystalline insulators, TCIs) – близкие родственники обычных топологических диэлектриков (topological insulators, TIs). Те и другие характеризуются наличием запрещенной зоны в энергетическом спектре объемных электронных состояний и отсутствием таковой на поверхности. Это связано со специфической топологией электронных волновых функций. В отличие от TIs, где ключевую роль играет симметрия относительно обращения времени, топологические свойства TCIs обусловлены зеркальной симметрией кристалла (рис. 1а), благодаря которой поверхностные электронные состояния в TCIs имеют конический закон дисперсии, то есть электроны ведут себя как безмассовые (дираковские) фермионы и свободно перемещаются по поверхности.

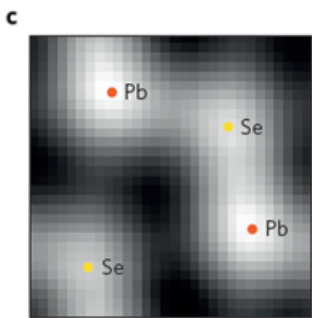
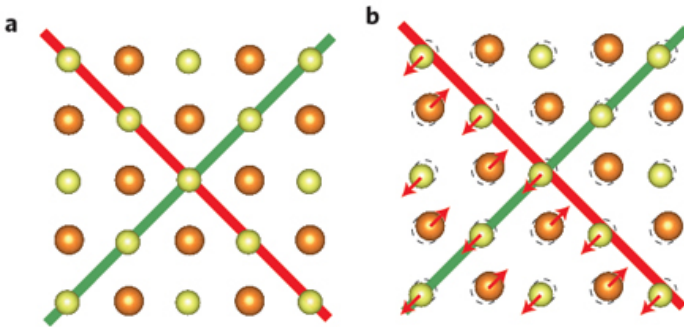


Рис.1. а – Схематическое изображение кристалла $Pb_{1-x}Sn_xSe$. Оранжевые и желтые шарики – атомы свинца (или олова) и селена, соответственно. Зеленая и красная линии – кристаллографические плоскости с зеркальной симметрией. б – Кристаллическая решетка, искаженная вследствие смещений атомов из равновесных положений (стрелки). Нарушена зеркальная симметрия относительно красной плоскости. в – Топографическое СТМ-изображение искаженной поверхности кристалла $Pb_{1-x}Sn_xSe$ из работы [1]. Размер картинки $6.1 \times 6.1 \text{ \AA}^2$.

с – Топографическое СТМ-изображение искаженной поверхности кристалла $Pb_{1-x}Sn_xSe$ из работы [1]. Размер картинки $6.1 \times 6.1 \text{ \AA}^2$.

Согласно теории, нарушение зеркальной симметрии (рис. 1б) может привести к возникновению в дираковском конусе энергетической щели, в результате чего электроны приобретут массу. Этот эффект недавно наблюдали авторы работы [1] (США, Япония, Тайвань, Сингапур) при исследовании TCI $Pb_{1-x}Sn_xSe$ с помощью сканирующей туннельной микроскопии/спектроскопии. Причиной нарушения симметрии здесь является смещение подрешеток

Pb/Sn и Se в противоположных направлениях (рис. 1с). Авторы проводят аналогию с элементарными частицами, которые (согласно механизму Хиггса) тоже приобретают массу вследствие нарушения симметрии, только другого рода.

По материалам заметки “Topology and structural distortions”, K.Sun, *Nature Mater.* **14**, 262 (2015).

1. M.Mecklenburg et al., *Science* **347**, 629 (2015).

Квантовая телепортация двух степеней свободы единичного фотона

Квантовая телепортация позволяет “перенести” квантовое состояние объекта А на удаленный объект С, используя предварительно сформированные запутанные состояния (А, В) и (В, С), а также классический канал связи. Все предыдущие эксперименты ограничивались телепортацией одной степени свободы (например, поляризации фотона). В работе [1] китайские физики впервые продемонстрировали одновременную телепортацию сразу двух степеней свободы единичного фотона – поляризации и орбитального углового момента. Для этого они использовали фотонные пары, запутанные по обеим степеням (то есть гиперзапутанные). Точность выполнения операции телепортации составила $0.57 \div 0.68$. Сделан еще один шаг на пути к телепортации более сложных квантовых систем.

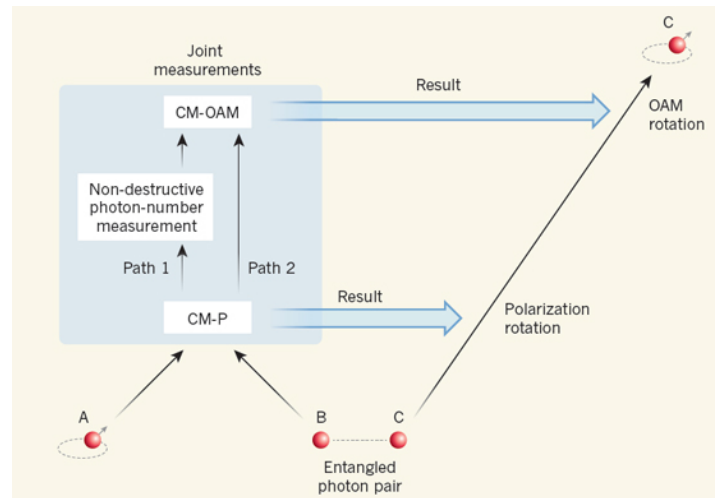


Схема квантовой телепортации композитного спин-орбитального состояния фотона.

1. X.-L.Wang et al., *Nature* **518**, 516 (2015).

Ультравысокая подвижность носителей и гигантское магнитосопротивление в дираковском полуметалле Gd_3As_2

Недавно эксперименты по фотоэмиссии подтвердили, что Gd_3As_2 и Na_3Bi являются, как и предполагалось, дираковскими полуметаллами (ДП) – трехмерными аналогами графена с коническим законом дисперсии по всем трем направлениям. Формированию энергетической щели в электронных спектрах этих материалов препятствует кристалличе-

ская симметрия. Ожидается, что при нарушении симметрии относительно обращения времени ДП становятся полуметаллами Вейля. Теория предсказывает, что ДП должны обладать рядом необычных транспортных характеристик. В работе [1] обнаружена интересная особенность ДП Gd_3As_2 , укрывшаяся от внимания теоретиков: аномально высокая подвижность $\mu(T = 5 \text{ K}) = 9 \cdot 10^6 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ при $H = 0$, обусловленная сильным подавлением процессов обратного рассеяния носителей за счет какого-то неизвестного механизма. В магнитном поле подвижность быстро падает, что приводит к очень большому магнитосопротивлению. Обсуждается возможность индуцированного полем изменения поверхности Ферми.

I. T.Liang et al., Nature Mater. 14, 280 (2015).

ГРАФЕН

Устойчивость колонного графена

Все чаще исследователи обращают внимание на, так называемые, гибридные углеродные материалы, построенные из наноструктур различной размерности. Образчиком таких систем являются пиподы, которые представляют собой эндоэдральный комплекс из квазиодномерных наноструктур (1D) – углеродных нанотрубок, во внутренней полости которых размещены квазинульмерные системы (0D) – фуллерены. Однако существуют и более структурно-сложные материалы, например, “колонный графен” (pillared graphene) – композит, построенный из ковалентно-связанных друг с другом углеродных нанотрубок (1D) и графеновых листов (2D). Согласно сложившимся представлениям колонный графен является достаточно перспективным материалом и может служить основой для водородных топливных элементов или фильтров. Тем не менее, несмотря на активные исследования в этой области, вопросы термодинамической устойчивости в зависимости от структурных элементов колонного графена до настоящего времени детально не рассматривались. Этот пробел удалось восполнить нашим соотечественникам из СГУ им. Н.Г. Чернышевского. В своей работе исследователи представили результаты расчетов энергетической устойчивости колонного графена в зависимости от геометрических параметров материала [1]. Под геометрическими параметрами в работе подразумеваются длина и диаметр нанотрубок (УНТ), а также расстояние между колоннами-нанотрубками в композите. Все расчеты авторы выполняли в рамках классического межатомного потенциала Бреннера, что позволило рассматривать достаточно большие фрагменты. Устойчивость колонного графена авторы характеризовали изменением полной энергии исследуемой системы, которая определялась как разность энергии композита и суммарных энергий частей графена и нанотрубок, из которых он состоит. Сначала исследователи рассмотрели отдельные структурные зве-

нья (см. рис. 1). Варьируя геометрию УНТ, им удалось выяснить, что наибольшей энергетической устойчивостью обладают фрагменты, в состав которых входит нанотрубка диаметром 12.12 \AA и длиной 18.44 \AA . Определение оптимальной геометрии УНТ позволило авторам на следующем этапе построить многослойный композит. Ключевым моментом его формирования стало выявление необходимой периодичности расположения нанотрубок между графеновыми листами. Основываясь на известных экспериментальных результатах, авторы расположили УНТ на графене в шахматном порядке, изменяя расстояние между ними в процессе моделирования в диапазоне от 37 до 57 \AA . Атомная структура энергетически наиболее устойчивого композита из нанотрубок и графена представлена на рис. 2.

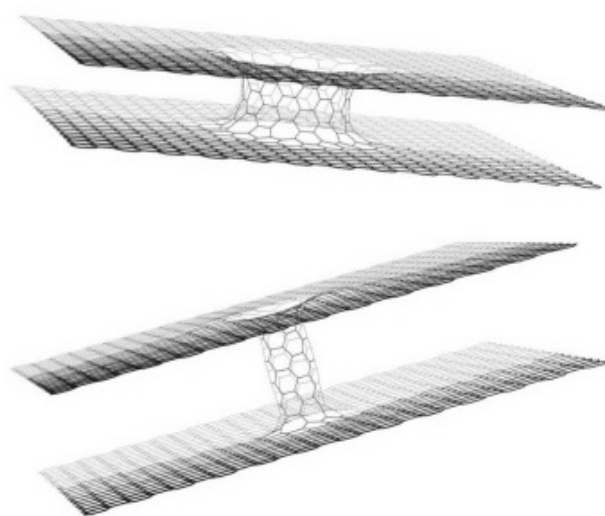


Рис. 1. Структурное звено колонного графена: диаметр нанотрубки – 12.12 \AA (сверху), диаметр нанотрубки – 5.24 \AA (снизу)

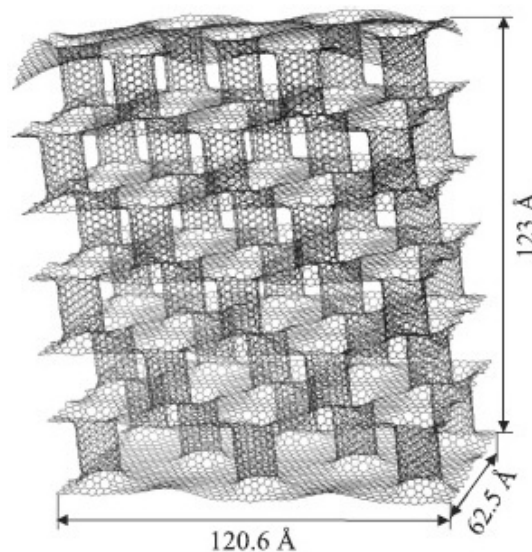


Рис. 2. Оптимизированная структура фрагмента колонного графена, построенного из углеродных нанотрубок длиной 18.449 \AA и диаметром 12.12 \AA при интервале между нанотрубками 37.05 \AA .

Авторы отмечают, что в процессе формирования образца поверхность графена приобретает дугообразный характер, причем направление изгиба графенового листа определяется расположением нанотрубок. В заключение отметим, что авторы достаточно убедительно продемонстрировали высокую термодинамическую устойчивость колонного графена, однако в дальнейшем было бы интересно выяснить сопровождается ли это столь же высокой кинетической стабильностью.

М. Маслов

1. О.Е. Глухова и др., ФТТ 57, 994 (2015).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Оптические интерференционные нанопокрyтия на шероховатых и гибких подложках

Интерференция света – давно известный и хорошо изученный оптический эффект. Радужная окраска мыльных пузырей, пленок минерального масла на поверхности воды, крыльев бабочек и др. обусловлена интерференцией света в тонких прозрачных пленках. Великолепную окраску опалов, некоторых бабочек, синих птиц мы также видим благодаря интерференции (а также дифракции и рассеянию) света на элементах 3D биофотонных наноструктур (см. ПерсТ [1,2]). Интерференцию в тонких пленках широко используют для получения зеркальных покрытий с высоким коэффициентом отражения, просветляющих покрытий, селективных оптических фильтров, интерферометров. Для снижения солнечного и СВЧ излучения в зарубежных самолетах применяют материалы остекления с интерференционными металл-диэлектрическими покрытиями. Российскими учеными разработаны тепло- и радиозащитные материалы авиационного остекления на основе органического стекла с тонкими многослойными оптическими интерференционными покрытиями [3].

Принцип разработки сложных оптических покрытий заключается в использовании многих пленок различной толщины из специально подобранных материалов. Самые простые и хорошо известные – однослойные четвертьволновые просветляющие покрытия. Когда толщина пленки равна $\lambda/4$ (точнее, $\lambda/4n$, где n – показатель преломления пленки), волны, отраженные от внешней и внутренней поверхностей пленки, гасятся вследствие интерференции. Недавно ученые из Harvard Univ. (США) продемонстрировали, что сильные интерференционные эффекты можно наблюдать и в пленках гораздо меньшей толщины [4-6]. Авторы нанесли на поверхность отражающих подложек нанопленки (причем не прозрачные, а хорошо поглощающие свет) и наблюдали “окрашивание” материала. Цвет менялся при изменении толщины нанопленки. От угла наблюдения окраска не зависела, и практически (если, конечно, не знать заранее) было невоз-

ПерсТ, 2015, том 22, выпуск 5

можно отличить образец с нанопленкой от однородного куска материала.

В первых экспериментах исследователи наносили аморфные Ge пленки толщиной 5-25 нм на золотые подложки. В зависимости от толщины покрытия образцы окрашивались в разные оттенки розового, фиолетового, синего цветов (рис. 1) [4,5].

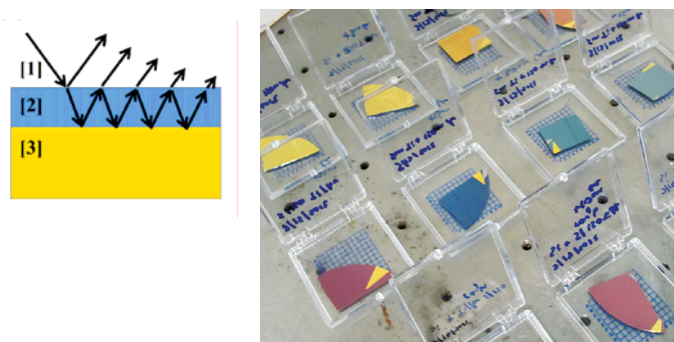


Рис. 1. Слева – схема оптических интерференционных покрытий Ge/Au. Подложка Au показана желтым цветом, слой Ge – синим, толщина слоя $\ll \lambda$. Справа фотографии образцов Ge/Au с толщиной слоя Ge в диапазоне 0 – 25 нм.

Но самые интересные результаты исследователи получили позднее, когда попробовали нанести покрытия не на гладкие, а на шероховатые подложки [6]. Оказалось, что интерференционные явления в нанопленках сохраняются и в этом случае. Такие покрытия можно наносить на различные материалы, в том числе гибкие. Авторы [6] представили результаты нанесения слоев Ge и Au на обычную, достаточно шероховатую бумагу (использовали метод электронно-лучевого испарения). Изображение волокон бумаги, полученное с помощью оптического профилометра (интерферометра), приведено на рис. 2. Шкала яркости представляет относительную высоту.

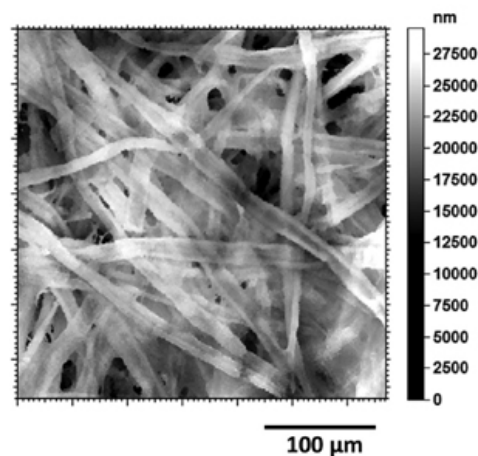


Рис. 2. Оптическое изображение поверхности волокон бумаги.

На рис. 3 видно, как в зависимости от толщины слоя Ge меняется цвет бумаги. Толщина Au слоя во всех случаях 100 нм. На верхнем образце имеется только слой Au, на других нанесен слой Ge толщиной 7, 10, 15 и 100 нм (сверху вниз). Поверхность образцов выглядит матовой из-за рассеяния света

на волокнах бумаги. Важно, что “окрашенная” бумага остается гибкой.

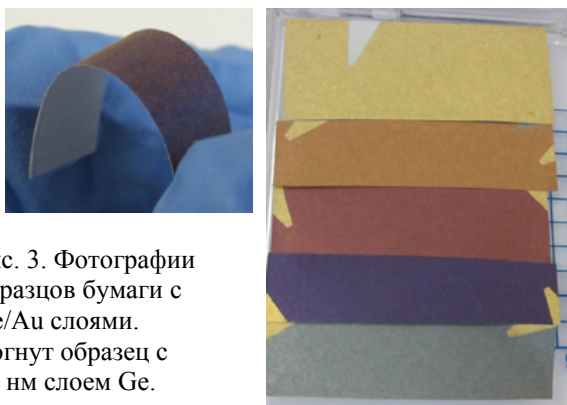


Рис. 3. Фотографии образцов бумаги с Ge/Au слоями. Согнут образец с 15 нм слоем Ge.

Спектры отражения для образцов с покрытиями и белой бумаги представлены на рис. 4. Показана также схема осаждения пленки на отдельное волокно бумаги. Как и ожидалось, отражательная способность белой бумаги примерно одинаковая и довольно высокая (0.7-0.8) во всем видимом диапазоне. Нанесение покрытий существенно изменяет картину; спектры зависят от толщины слоя. Спектр бумаги с золотым 100 нм покрытием аналогичен спектру золота (верхний образец на фотографии рис.3). При нанесении достаточно толстого, 100 нм слоя Ge (нижний серый образец на фотографии рис.3), отражательная способность во всем диапазоне примерно равна 0.3-0.4, что соответствует спектру объемного аморфного Ge. При толщинах слоя Ge 7 нм, 10 нм, 15 нм образцы в соответствии с изменением спектров отражения (рис. 4а) приобретают цвета, отличные и от Au, и от Ge.

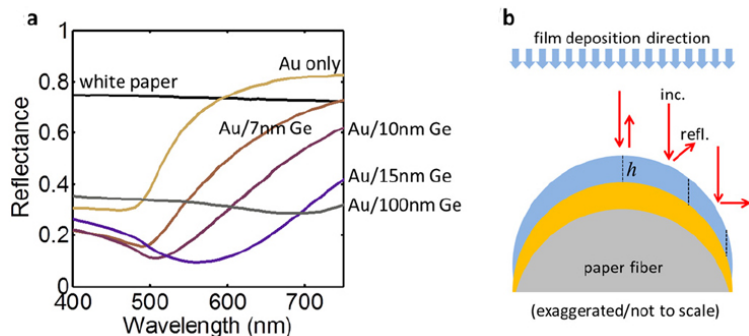


Рис. 4. а – Спектры отражения видимого света для белой бумаги без покрытия и образцов бумаги с нанесенными слоями Au/Ge. б – Схема осаждения пленок на отдельное волокно (не в масштабе). Слой Au показан желтым цветом, слой Ge – синим, $h \ll \lambda$.

Авторы работы полагают, что в качестве подложки можно использовать различные гибкие материалы, в том числе ткани, резину. Нанопленочные покрытия позволят окрашивать изделия практически без изменения их веса (это важно в ряде случаев), экономить дорогие материалы. Такие интерференционные пленки перспективны для создания гибких оптоэлектронных устройств.

О. Алексеева

1. [Перст 19, вып. 24, с.3 \(2012\).](#)
2. [Перст 19, вып. 21, с.3 \(2012\).](#)
3. А. Г. Крынин и др., *Труды ВИАМ, №11, (2013).*
4. M.A.Kats et al., *Nature Mater.* **12**, 20 (2013).
5. M.A.Kats et al., *Optic&Photonics News* **40**, (2014).
6. M.A.Kats et al., *Appl. Phys. Lett.* **105**, 131108 (2014).

МУЛЬТИФЕРРОИКИ

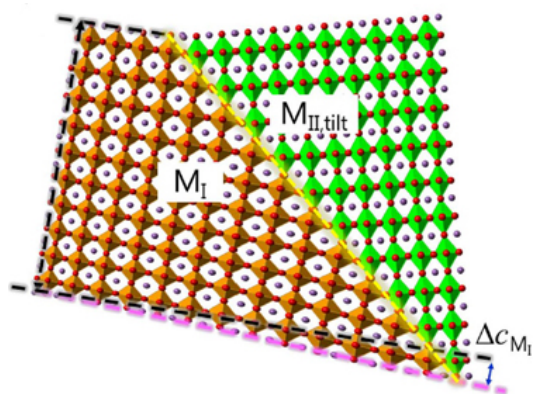
Загадка усиления пьезоэлектричества в пленках феррита висмута

Необычные свойства пленок феррита висмута чуть больше десяти лет назад послужили спусковым механизмом к взрывообразному росту интереса к этому материалу и мультиферроикам вообще. Наряду с усилением сегнетоэлектрических и магнитных свойств, в пленках наблюдался и сильный пьезоэлектрический эффект. Гигантские (до 400 пм/В) величины пьезоэлектрического модуля наблюдались в пленках феррита висмута со смешанными фазами, в которых эпитаксиальные искажения приводили к сосуществованию двух фаз M_I и M_{II} с различным типом искажений исходной перовскитной структуры (рис. 1а).

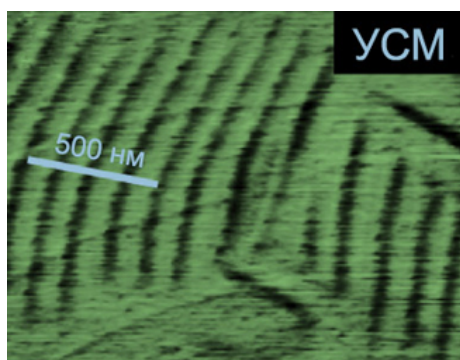
Поскольку фазовое расслоение в феррите висмута происходит на наномасштабах, то его наблюдение требует зондовых методов исследования. Традиционная атомная силовая микроскопия позволяет измерять упругие модули только у очень мягких веществ, таких как полимеры. Для сравнения жесткости различных фаз феррита висмута исследователи [1] использовали разновидность атомной силовой микроскопии – ультразвуковую силовую микроскопию, в которой частота вынуждающей силы намного выше собственной частоты кантилевера. В результате получались изображения, на которых отчетливо видна самоорганизующаяся структура фаз в феррите висмута, напоминающая доменную структуру (рис. 1б).

Сравнение профилей, полученных различными видами зондовой микроскопии (рис. 1в), позволяет установить, что максимумы пьезоэлектрического отклика соответствуют точкам перегиба в профиле ультразвукового силового изображения, т.е. в местах расположения границ раздела фаз. В этих местах возникает градиент механического напряжения, что наводит на мысль о флексоэлектрическом происхождении дополнительного пьезоэлектрического отклика. Напомним, что флексоэлектрическим эффектом называют возникновение электрической поляризации при неоднородной деформации (в отличие от пьезоэлектрического эффекта, имеющего место при однородной деформации). Этим же эффектом можно объяснить наблюдавшееся ранее увеличение электрической поляризации в материалах на основе феррита висмута. Поскольку флексоэлектрический эффект тем больше, чем меньше переходная зона, то он с особой силой должен прояв-

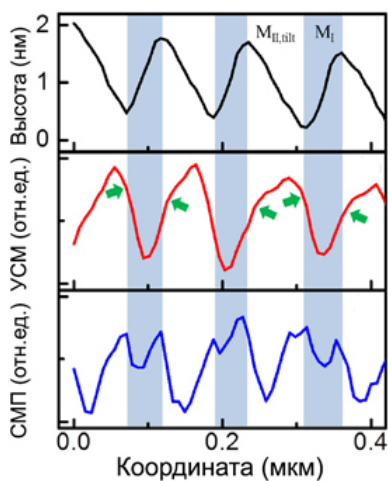
ляться в наномасштабах, поэтому мы еще не раз услышим о проявлениях этого эффекта в материалах.



а



б



в

Рис. 1 Фазы в пленках феррита висмута: а – граница двух моноклинных фаз (псевдоромбоэдрической M_I и псевдотетрагональной M_{II}), б – разделение фаз в полосовую структуру, в – профили изображений в различных видах зондовой микроскопии, сверху вниз: атомно-силовое, ультразвуковое силовое (УСМ) и полученное с помощью силовой микроскопии пьезоотклика (СМП). Стрелками отмечены точки перегиба в зависимости упругих констант от координаты.

А. Пятаков

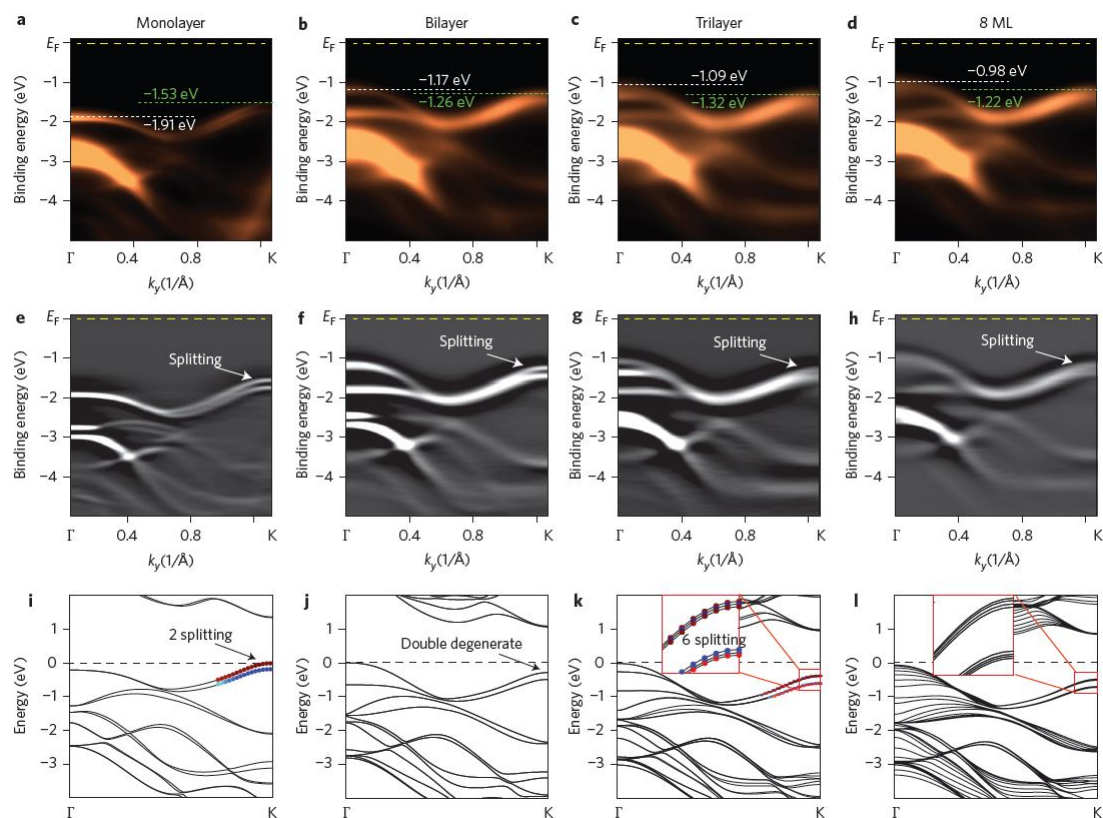
1. Ch.-E. Cheng et al., *Sci. Rep.*, 5, 8091 (2015).

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Прямое наблюдение перехода от не прямой к прямой запрещенной зоне в эпитаксиальных монослоях $MoSe_2$.

Слоистые дихалькогениды переходных металлов MX_2 ($M=Mo,W$; $X=S,Se,Te$) образуют класс слоистых материалов с графеноподобной структурой. Как и графен, они могут механически расщепляться и формировать гексагональные монослои. Но их электронная структура радикально отличается от безщелевой структуры графена. Достаточно широкая не прямая запрещенная зона в объемном $MoSe_2$ с максимумом потолка валентной зоны в центре зоны Бриллюэна и минимумом дна зоны проводимости на краю зоны Бриллюэна, согласно предсказаниям зонной теории, должна смениться прямой запрещенной зоной при переходе к монослойным толщинам. Эти предсказания были ранее подтверждены экспериментально оптическими измерениями. Благодаря прямой щели монослои $MoSe_2$ представляют интерес для оптоэлектроники и полевых транзисторов. Однако прямого экспериментального подтверждения трансформации зонной структуры с уменьшением толщины в $MoSe_2$ до сих пор не было. Американско-китайская группа [1] методом молекулярно-лучевой эпитаксии получила набор высококачественных пленок $MoSe_2$ с толщинами от 8 до 1 монослоя (имеется в виду трехатомный слой Se-Mo-Se). На этих образцах *in situ* были измерены спектры фотоэмиссии с угловым разрешением (ARPES), дающие информацию о законах дисперсии электронов валентной зоны. Такой уникальный эксперимент был выполнен на рабочей станции HERS бимлайна 10.0.1 синхротрона ALS в Lawrence Berkeley Natl. Lab. (США).

Из рисунка видно, что для одного монослоя потолок валентной зоны лежит в точке К, как и дно зоны проводимости из зонных расчетов, то есть щель действительно прямая. Начиная с толщины два слоя и более, потолок в Г точке поднимается выше точки К, и щель превращается в не прямую. Следует отметить, что рассчитанные методом GGA ширины запрещенной зоны меньше экспериментальных величин, что является общим недостатком LDA и GGA приближений в теории функционала плотности при вычислении щелей в полупроводниках и диэлектриках. ARPES эксперименты выявили также значительное (180 мэВ) расщепление по спину на потолке валентной зоны в точке К. Согласно зонным расчетам, это расщепление контролируется спин-орбитальным взаимодействием. В результате $MoSe_2$ приобретает большой интерес для устройств спинтроники, чем предлагавшийся ранее MoS_2 с расщеплением 100 мэВ. Кроме того, не только топологические изоляторы, но и монослои дихалькогенида молибдена дают возможность изучать спин-орбитальную физику.

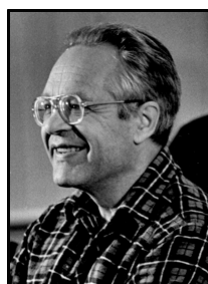


Эволюция зонной структуры MoSe₂ с ростом числа монослоев. a-d – ARPES спектры для структур с одним, двумя, тремя и 8 слоями MoSe₂ в направлении Г-К зоны Бриллюэна, белый и зеленый пунктиры показывают максимумы валентной зоны в точках Г и К, соответственно. Вторые производные спектров показаны на рисунках e-h; i-l – изображения результатов зонных расчетов. На вставках показано расщепление потолка валентной зоны.

С. Овчинников

1. Yi Zhang et al., *Nature Nanotech.* **9**, 111 (2014).

**5 марта 2015 года на 80-м году жизни
скончался выдающийся ученый, академик
Всеволод Феликсович Гантмахер**



Человек высокой культуры, эрудиции, профессионализма, Всеволод Феликсович Гантмахер отличался исключительной доброжелательностью и уважительным отношением к людям. Он навсегда останется в благодарной памяти его коллег, учеников, друзей и близких.

Редакция и авторы ПерсТа

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

Главный редактор: И.Чугуева, e-mail: irina@issp.ras.ru

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

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

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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