

ISSN: 2782-5515



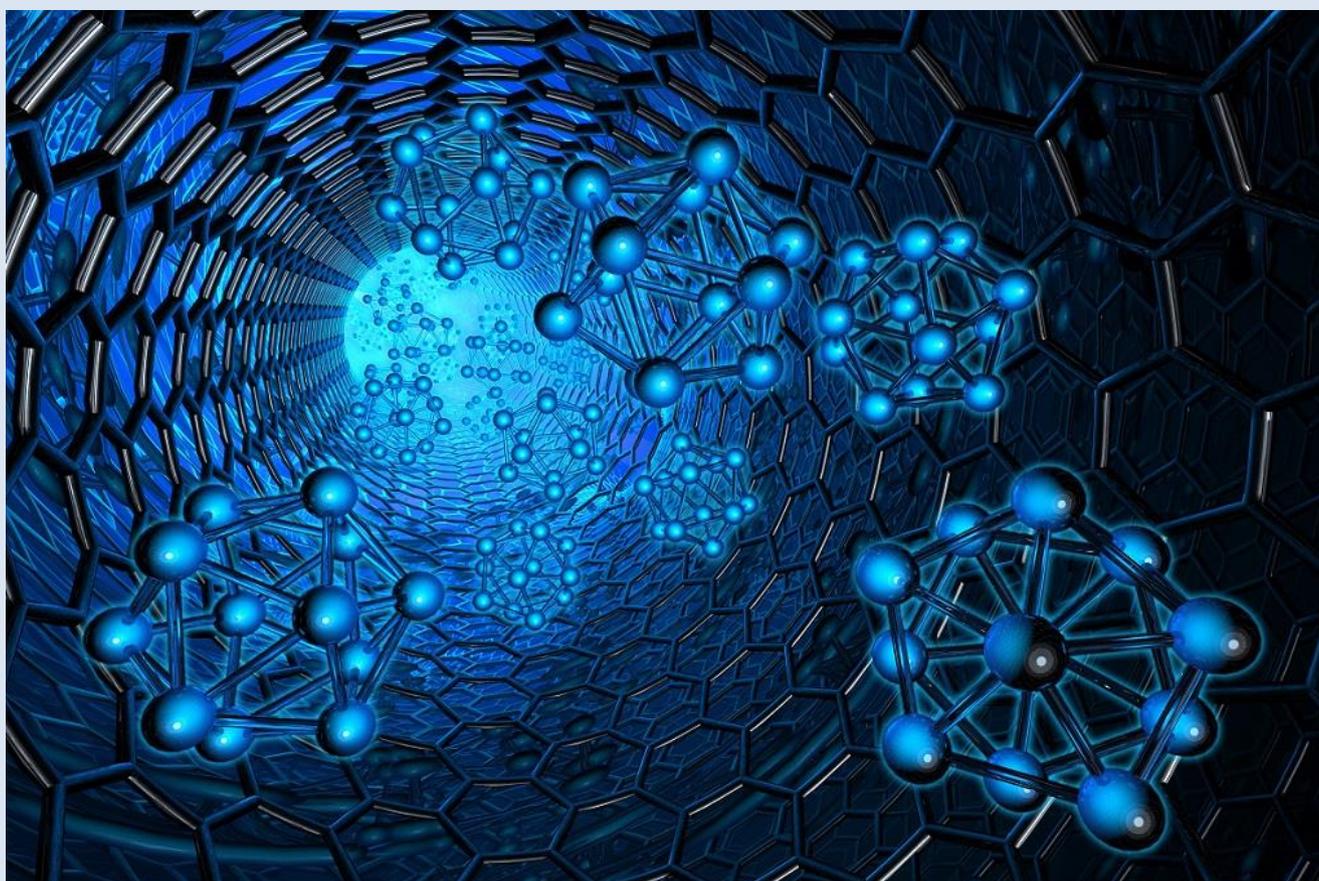
Перст

Информационный бюллетень

перспективные технологии
наноструктуры сверхпроводники фуллерены

Том 30, выпуск 6

июнь 2023 г.



<https://dzen.ru/a/XpDH9DlIdmacVsag/>

Черноголовка

В этом выпуске:

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

Плазмонная структурная краска

Все коммерческие красители основаны на пигментах, которые поглощают фотоны с определенной энергией. При производстве большинства этих красителей используют вредные вещества, которые плохо влияют на окружающую среду. Со временем краски тускнеют, особенно при высоких температурах, под воздействием освещения и атмосферных осадков. Как известно, в природе много примеров структурной окраски, которая обусловлена не молекулярным поглощением, а оптическими явлениями – интерференцией, дифракцией, рассеянием световых волн на наноструктурах. Перст рассказывал об успехах в изучении иерархических структур (например, синего оперения птиц, чешуек на крыльях голубых переливчатых бабочек и радужных брюшных чешуек паучков), которые вдохновили исследователей на создание биомиметических структурных красок [1,2]. Так, “по мотивам” голубых бабочек были созданы сверкающие полимерные пленки, разработана “эксклюзивная синяя краска” (многослойное наноструктурное покрытие) для автомобиля The Lexus LC Structural Blue. Методы их получения довольно сложны и не позволяют обеспечить производство в больших количествах.

Исследователи из Univ. of Central Florida (США), Univ. of Toronto (Канада), National Inst. of Astrophysics, Optics, and Electronics (Мексика) разработали универсальный способ структурного окрашивания больших площадей с разной поверхностью [3]. Что важно, цвет не зависит от угла и поляризации падающего света. Идею подсказало изучение природных объектов, в которых дифракция, рассеяние света в наружных слоях сочетается с молекулярным поглощением определенных световых волн в расположенных глубже пигментах.



Self-assembled Al particles
Al₂O₃ spacer
Al mirror
Structural absorption

Рис. 1. Субволновой плазмонный резонатор, образованный самосборкой металлических наноструктур на зеркале, покрытом слоем оксида, производит цвет путем селективного поглощения волн определенной длины и сильного обратного отражения других волн.

И далее ...

МУЛЬТИФЕРРОИКИ

- 5 Электрический выключатель симметрии в антисегнетоэлектриках

СНОВА К ОСНОВАМ

- 6 Как вращение влияет на упругость соударений: опыт с бутылкой

- 7 Стабильность твердого азота

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

- 8 Третья Международная конференция “Физика конденсированных состояний” (ФКС-2023), посвященная 60-летию ИФТТ РАН

В конструкции, предложенной авторами [3], пигмент, поглощающий определенный световые волны, является структурным и состоит только из алюминия и оксида алюминия. Точнее, Al зеркало покрыто прозрачным оксидом Al толщиной 10-30 нм, на котором находится монослой наностроек Al (рис. 1).

Зеркало (толщиной 100 нм) получили, используя электронно-лучевой испаритель. Оксид вырастили методом атомного осаждения слоев, после чего в высоковакуумном электронном испарителе нанесли Al частицы, которые путем самосборки сформировали наностройки. Оптический отклик, или цвет, который создает эта структура, является результатом взаимодействия монослоя наночастиц Al и субволнового резонатора, образованного этим слоем, Al отражающим зеркалом и диэлектрической нанопрослойкой между ними. Падающий свет при-

водит к возникновению локализованного поверхностного плазмонного резонанса (ЛППР). Наностройки алюминия резонансно поглощают волны определенной длины, а зеркало отражает все нерезонансные световые волны. Геометрические изменения каждого из слоев вызывают изменение спектрального положения зоны поглощения и, соответственно, цвета. Размер наностроек (толщину монослоя) легко контролировать, регулируя количество испаренного Al. Авторы [3] показали, что по мере увеличения массы Al островки становятся крупнее, объединяются и, в конце концов, образуют непрерывную пленку. При этом условия, необходимые для возникновения ЛППР, пропадают, и цвет исчезает. На рис. 2 схематически показан рост островков и изменение цвета для толщин t_m (определенных по массе испаренного Al) от 0,5 до 16 нм.

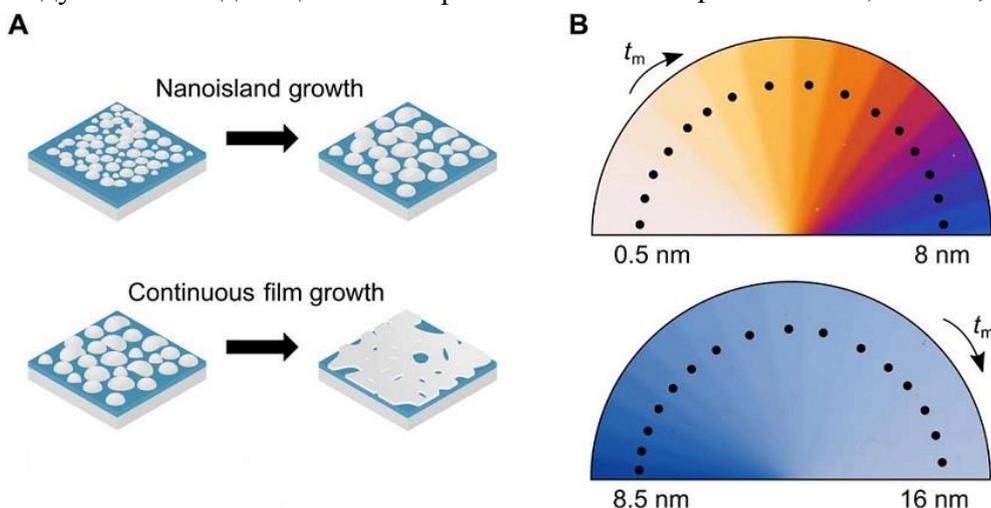


Рис. 2. А – Размер островков можно контролировать, меняя массу испаренного Al. Длительный процесс испарения приводит к образованию сплошной пленки, плазмонный резонанс и, соответственно, цвет пропадают. В – Изменение цвета при увеличении толщины монослоя от 0,5 до 16 нм. Толщина диэлектрического промежуточного слоя 10 нм.



Рис. 3. Разноцветные бабочки из ПЭТ, окрашенные по методу [3].

Предложенный способ окраски универсальный, годится для любых подложек (в том числе гиб-

ких), как с гладкой, так и с текстурированной поверхностью. На рис. 3 показаны бабочки из полиэтилентерефталата (ПЭТ), крылья которых авторы [3] окрасили в разные цвета своим методом.

Исследователи продолжили совершенствовать свои “краски”. Плазмонные резонансы очень чувствительны к окружению. Эксперименты показали, что добавление верхнего нанослоя (толщиной несколько нанометров) из оксида алюминия на островки Al позволяет дополнительно регулировать окраску. Толщина диэлектрической прослойки из оксида Al также влияет на оптический отклик. Далее авторы предложили “смешивать” структуры так же, как смешивают обычные краски. С помощью лито-

графической маски на разные микроучастки поверхности они нанесли нанеоостровки разной толщины. Подбирая размеры участков, их расположение (например, в шахматном порядке как на рис. 4), толщины островков t_m и t'_m (например, 5 и 10 нм), получили новые оттенки.

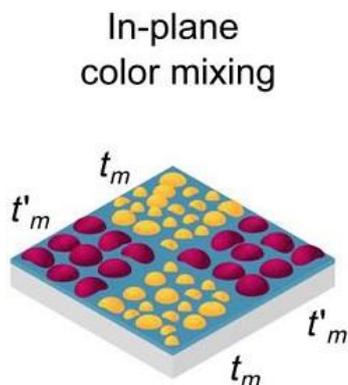


Рис. 4. Один из вариантов “смешивания” структурных красок в плоскости.

Однако не всегда в реальных условиях можно использовать вакуумное оборудование. Авторы [3] предложили способ изготовления коммерческих красок. Они синтезировали их в виде двухсторонних чешуек. Для этого на временную водорастворимую подложку с помощью вакуумного испарителя нанесли симметрично с двух сторон плазмонный пакет – зеркало, промежуточный диэлектрический слой, слой Al островков и дополнительный верхний слой оксида алюминия. После растворения временной подложки образовались свободные чешуйки размером 20-150 мкм.

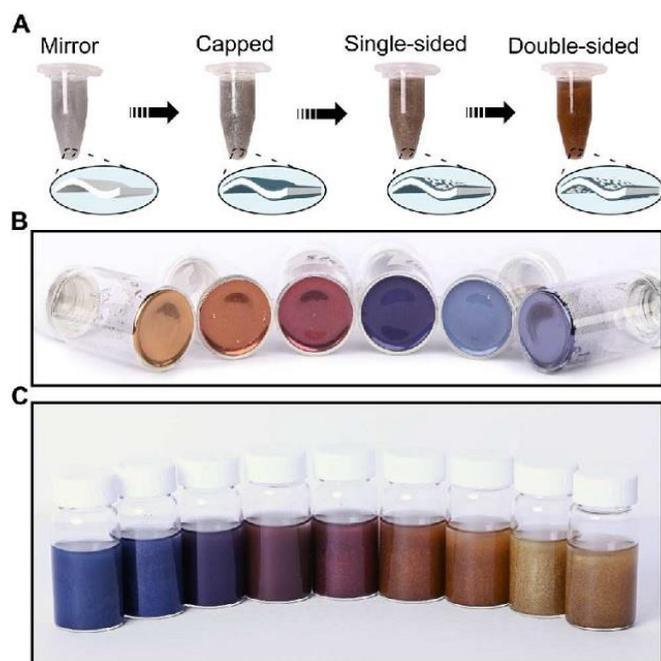


Рис. 5. Структурная краска: А – последовательный синтез двухстороннего плазмонного пакета на временной подложке; В и С – чешуйки можно хранить в виде порошка или в виде дисперсии (например, в ацетоне).

Эти чешуйки можно хранить в виде порошка или в виде дисперсии, например, в ацетоне (рис. 5).

Авторы выбрали симметричную структуру, чтобы обеспечить равномерное окрашивание, но возможны варианты асимметричной конфигурации, когда каждая поверхность чешуйки будет давать свой цвет.

Для демонстрации коммерческого использования чешуйки смешали с олифой и на черной канве “нарисовали” бабочку (рис. 6).

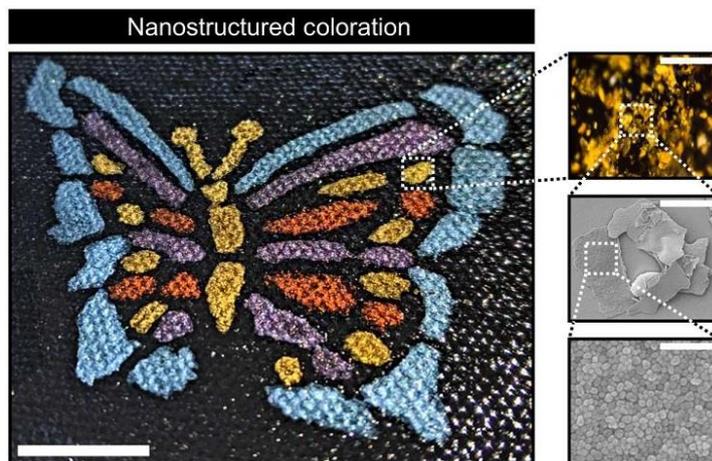


Рис. 6. Фотография бабочки, нарисованной на черной канве краской из чешуек в олифе. Шкала – 1 дюйм.

На двух нижних врезках SEM изображения. Шкалы на врезках – 100 мкм, 75 мкм и 100 нм.

Созданная авторами [3] плазмонная структурная многоцветная краска является самой легкой в мире ($0,4 \text{ г/м}^2$). Достаточно монослоя чешуек, смешанных со связующим, чтобы раскрасить любую поверхность. Производить такие краски можно в больших количествах. По мнению авторов [3], цвета могут сохраняться веками. Плазмонные краски отражают ИК излучение и мало нагреваются, к тому же они безопасны для окружающей среды и человека.

О. Алексеева

1. [ПерсТ 25, вып. 3/4, с.1 \(2018\).](#)
2. [ПерсТ 29, вып. 1/2, с.1 \(2021\).](#)
3. [P.Cencillo-Abad et al., Sci. Adv. 9, eadf7207 \(2023\).](#)

МУЛЬТИФЕРРОИКИ

Электрический выключатель симметрии в антисегнетоэлектриках

В антисегнетоэлектриках наблюдается особый вид упорядочения, в котором дипольные моменты соседних элементарных ячеек компенсируют друг друга, что соответствует более высокой симметрии, чем сегнетоэлектрическое упорядочение. В электрическом поле эта симметрия нарушается, вновь восстанавливаясь при снятии поля. Если в системе созданы условия для конкуренции симметричной и

асимметричной фаз, то система может запомнить состояние с иной симметрией.

Такую систему на основе слоев самого известного из мультиферроиков - феррита висмута BiFeO_3 (BFO), образующего сверхрешетку со слоями диэлектрика TbScO_3 (TSO) (рис. 1a) создала международная команда ученых из университетов США, Китая и Европы. С помощью электрического поля симметрию решетки феррита висмута можно переключать, переводя материал из неполярной фазы в полярную, а также, что всего удивительнее, обратно из полярной в неполярную [1].

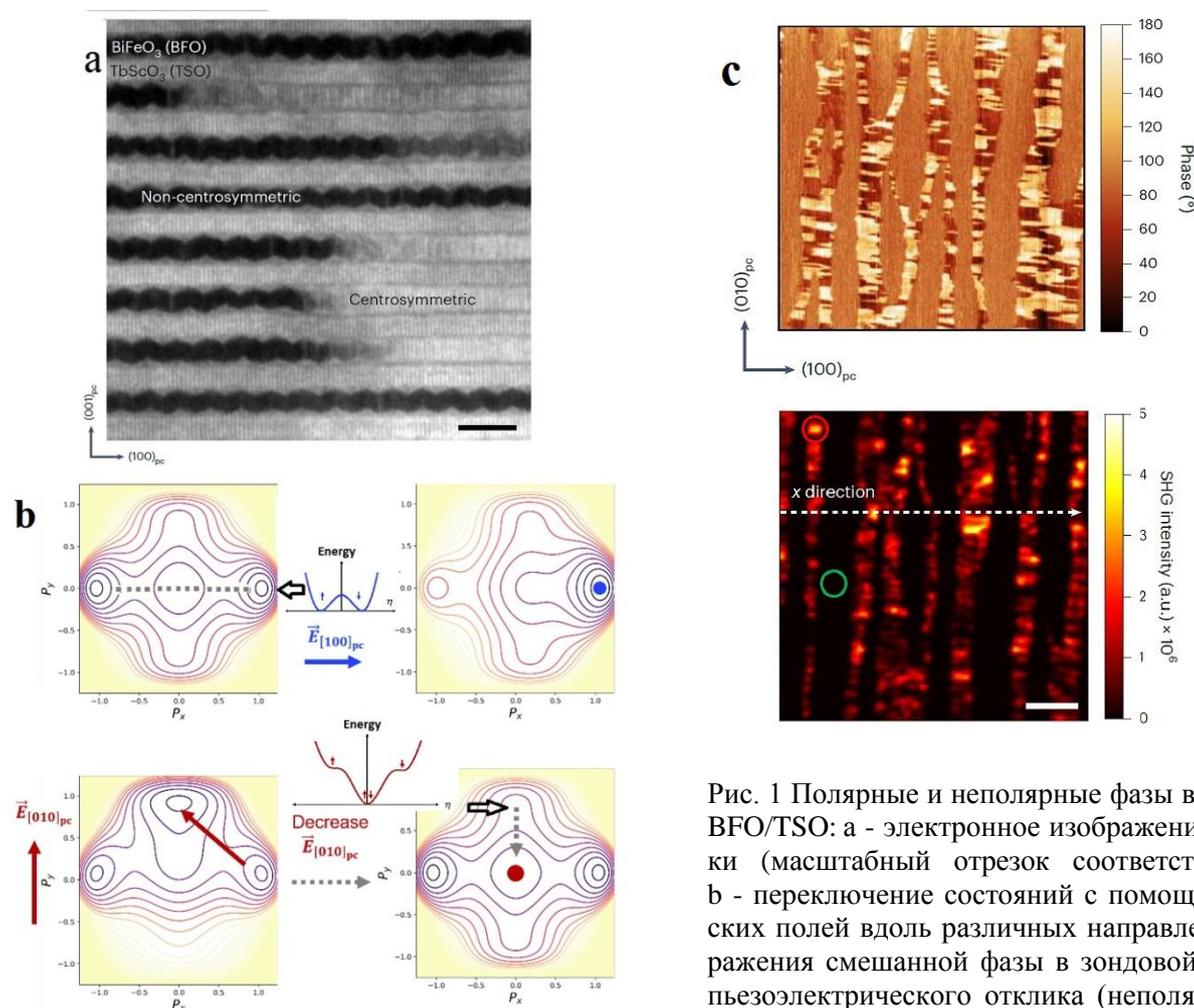


Рис. 1 Полярные и неполярные фазы в сверхрешетке BFO/TSO: а - электронное изображение сверхрешетки (масштабный отрезок соответствует 10 нм); б - переключение состояний с помощью электрических полей вдоль различных направлений; с - изображения смешанной фазы в зондовой микроскопии пьезоэлектрического отклика (неполярной фазе соответствует средний уровень пьезоэлектрического сигнала), и на второй оптической гармонике (области полярной фазы – с максимальной интенсивностью второй гармоники и неполярной - с минимальной интенсивностью, отмечены красным и зеленым кружками, соответственно (размер масштабного отрезка – 5 мкм) [1].

Подобное становится возможным благодаря тому, что электрическое поле можно прикла-

дывать в различных направлениях: если вдоль направления $[100]$ в квазикаубической установке зависимость энергии от сегнетоэлектриче-

ского параметра порядка представляет собой классический двухъямный потенциал (рис. 1b, синий график), то для перпендикулярного направления, помимо двух локальных минимумов, соответствующих полярной фазе, существует еще и минимум для неполярной фазы (красная кривая), в который система попадает в два этапа: сначала она переводится из одной полярной фазы в другую приложением электрического поля вдоль оси [010] в квазикубической установке, а потом при его уменьшении, система “скатывается” в глобальный минимум неполярной фазы (рис. 1b). Таким образом, симметрию кристалла можно включать и выключать, как лампочку – электрическим способом. Авторы [1] экспериментально подтвердили подобные переключения сразу несколькими способами: с помощью электронной микроскопии (рис. 1a), сканирующей зондовой микроскопии пьезоэлектрического отклика, а также с помощью генерации второй гармоники (рис. 1c).

Казалось бы, такое явление противоречит принципу Кюри, связывающему симметрию причин и следствий. Однако это тот самый случай, когда мнимое исключение лишь подтверждает правило. Принцип Кюри утверждает, что если присутствует асимметрия в эффекте, то должна быть соответствующая асимметрия в причине, но не наоборот: во второй части формулировки принципа особо подчеркивается, что эффект может быть более симметричен, чем породившая его причина. Так, например, при обратном пьезоэлектрическом эффекте электрическое поле порождает механическую деформацию, не имеющую полярного направления. В случае же системы ВФО/ТСО электрическое поле индуцирует переход в неполярную фазу.

А. Пятаков

1. *L.Caretta et al., Nat. Mater. 22, 207 (2023).*

СНОВА К ОСНОВАМ

Как вращение влияет на упругость соударений: опыт с бутылкой

Исследования вихрей, направленные на изучение разнообразных эффектов в оптике, магнетизме и твердых телах, не прекращаются и в гидродинамике. Казалось бы, вращение воды в бутылке или стакане давно изучено, даже в школьных сборниках есть задачи на эту тему. Тем не менее, в работе [1] чилийские ученые представили новый эффект, связанный с вращением воды – влияние вращения на прыгучесть бутылки.

В экспериментах использовали пластиковую бутылку, частично заполненную водой. Бутылку бросали с определенной высоты на твердую поверхность, и с помощью высокоскоростной съемки наблюдали за динамикой удара и отскока бутылки. Также перед броском закручивали бутылку с контролируемой частотой и сравнивали характер движения и высоту подъема бутылки с закрученной и незакрученной жидкостью.

При ударе бутылки с водой о твердую поверхность в бутылке возникает кумулятивная струя – часть воды выплескивается вверх. На формирование этой струи уходит часть энергии удара. Тем не менее, большая часть воды в бутылке при ударе остается неподвижной. Если же вода в бутылке вращается, то при ударе о поверхность возникает еще более сильный вихрь – торнадо, вовлекающее в движение почти всю воду, и на это уходит большая часть энергии удара.

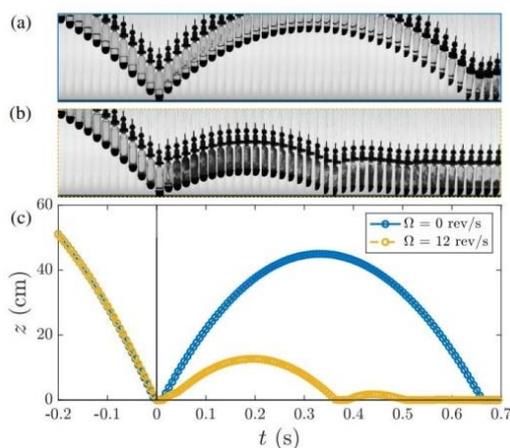


Рис. 1. Динамика удара невращающейся (a) и вращающейся (b) бутылки. c - Показано положение дна невращающейся (синяя кривая) и вращающейся (оранжевая кривая) бутылки в зависимости от времени, за нулевой отсчет принят момент первого удара.

На рис. 1 а,б представлены фотографии этого процесса. Видно, что в незакрученной бутылке жидкость возмущается намного меньше, чем в закрученной, и явно видно уменьшение высоты подъема бутылки после удара.

Авторы провели исследования зависимости отношения скоростей бутылки до и после удара (что характеризует степень упругости удара) от частоты вращения и доли жидкости, наполняющей бутылку. Вполне ожидаемо оказалось, что на полностью заполненную бутылку вращение жидкости почти не влияет. Наибольший эффект вращение оказывает на бутылку, заполненную примерно наполовину (доля жидкости в общем объеме бутылки 0.4 – 0.6), в этом случае вращение уменьшает скорость подпрыгивания более чем в два раза.

Представленное исследование интересно для широкого круга физиков и само по себе, кроме того, необходимо учитывать эти эффекты при транспортировке жидкостей.

Есть возможность убедиться в утверждениях авторов статьи и на собственном опыте. Виден всплеск закрученной воды, но наблюдать глазом всю динамику не получится – слишком быстрые процессы. Зато различие хорошо воспринимается на слух. Возьмите обыкновенную пластиковую бутылку и наполните ее водой примерно наполовину. Если бросить с одной высоты на пол незакрученную и закрученную бутылку, то при ударе закрученной бутылки звук будет более глухим. Значит, звук затухает сильнее, что соответствует изложенному в статье механизму поглощения энергии удара.

3. Пятакова

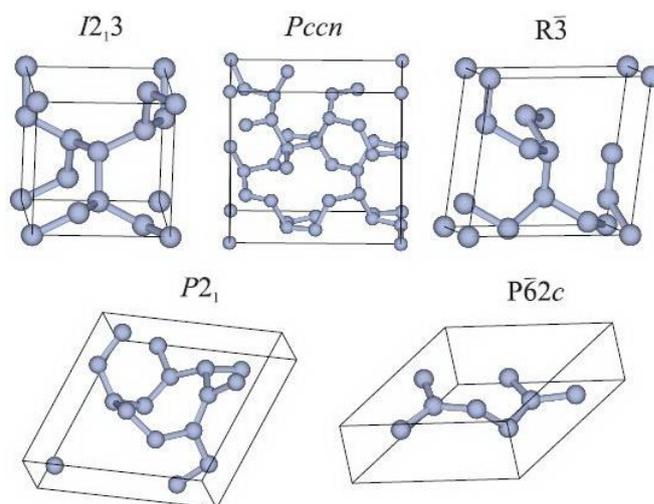
1. K.Andrade et al., *Phys. Rev. Lett.* **130**, 244001 (2023).

Стабильность твердого азота

Когда говорят о материалах с высокой плотностью запасаемой энергии (HEDM – high-energy-density materials), чаще всего имеют в виду соединения немолекулярного азота. Действительно, при распаде метастабильных азотных систем может выделяться значительное количество энергии за счет образования молекул N_2 . Теоретические оценки запасаемой энергии чисто азотными структурами с одинарными ковалентными связями дают величины порядка 1.5 эВ/атом. При этом процесс энерговыделения можно считать экологически нейтральным, поскольку продуктом распада таких структур являются молекулы газа, который составляет ос-

ПерсТ, 2023, том 30, выпуск 6

нову атмосферы нашей планеты. К сожалению, экспериментально удалось получить лишь немногие твердые атомарные фазы азота и только при экстремально высоком давлении (>120 ГПа), среди которых особое место занимает гош-фаза с симметрией $I2_13$. Именно она считается наиболее перспективным кандидатом для создания HEDM, поскольку сохраняет стабильное состояние при декомпрессии до самых низких давлений ~50 ГПа по сравнению с другими атомарными фазами. Попытки синтеза твердого азота, который был бы устойчив при нормальном давлении, пока не увенчались успехом, хотя компьютерное моделирование “из первых принципов” предсказывает, что критерий динамической стабильности, а именно отсутствие мнимых частот в фононном спектре, при нормальном давлении выполняется для целого ряда чисто азотных систем с симметриями кристаллической решетки $I2_13$, $Pccn$, $R\bar{3}$, $P\bar{6}2c$ и $P2_1$ (см. рис.).



Элементарные ячейки твердых атомарных фаз азота $I2_13$, $Pccn$, $R\bar{3}$, $P\bar{6}2c$ и $P2_1$

Для разрешения сложившегося противоречия ученые НИЯУ МИФИ [1] детально исследовали устойчивость твердых азотных материалов и проанализировали возможность их разрушения за счет структурных дефектов, которые характерны для твердых тел. Они рассмотрели вопросы стабильности поверхности, а также провели оценки устойчивости к формированию вакансий в объеме материала. Исследователи выполнили расчеты энергетических и структурных характеристик кристаллических фаз немолекулярного азота, определили энтальпии формирования и концентрации вакансий при различных температурах и давлениях с помощью теории функционала плотности в про-

грамме Quantum Espresso. Авторы использовали обменно-корреляционный функционал PBEsol, разработанный специально для описания кристаллических соединений, и сохраняющий норму псевдопотенциал для азота. В результате авторы установили, что присутствие даже одной вакансии на 384 атома сверхъядейки кристалла $Pccn$ (это соответствует концентрации всего лишь 0.3%) способно вывести его из метастабильного состояния с последующим переходом в молекулярную фазу, а для фазы $P\bar{6}2c$ существуют такие положения вакансий, для которых энтальпия формирования оказывается отрицательной, что свидетельствует об энергетической выгодности их образования. Концентрация вакансий при этом превышает 10%, что вполне достаточно для разрушения материала. Таким образом, лишь три структуры $I2_13$, $R\bar{3}$ и $P2_1$ остаются устойчивыми к формированию вакансий при нормальном давлении. Однако анализ оставшихся кристаллов показал, что поверхность фазы $R\bar{3}$ неустойчива даже при нулевой температуре, а для решетки с симметрией $P2_1$ элементарный процесс выхода двух соседних атомов азота с поверхности в вакуум неизбежно приводит к переходу всего кристалла в молекулярную фазу. Единственной из рассмотренных авторами систем, которая не выводится из метастабильного состояния структурными возмущениями, оказывается уже знакомая гош-фаза $I2_13$. Правда и для нее процесс отрыва от поверхности двух соседних атомов азота с образованием молекулы N_2 может послужить катализатором разрушения, поэтому для экспериментального получения гош-фазы при нормальном давлении, по мнению авторов, вопрос стабилизации поверхности играет одну из ключевых ролей. Будем надеяться, что мы все-таки подержим твердый атомарный азот в руках, ведь все предпосылки для этого имеются.

М. Маслов

И. К.С.Гришаков и др., Письма в ЖЭТФ 117, 676 (2023).

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

Третья Международная конференция “Физика конденсированных состояний” (ФКС-2023), посвященная 60-летию ИФТТ РАН

С 29 мая по 02 июня 2023 года в ФГБУН Институте физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна РАН состоялась третья Международная конференция “Физика конденсированных состояний” (ФКС-2023), посвященная 60-летию ИФТТ РАН. Конференция проходила в рамках подготовки и проведения празднования 300-летия Российской академии наук.

Участниками конференции стали более 300 ведущих ученых и молодых специалистов, представителей академических институтов и университетов, занимающихся фундаментальными и прикладными исследованиями в области физики конденсированного состояния и материаловедения, в том числе: ФИАН, ФИЦ КазНЦ РАН, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, ИТФ им. Ландау РАН, ИФП им. П.Л. Капицы РАН, ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, МФТИ, МГУ им. М.В. Ломоносова, СПбГУ, Университет ИТМО, НИТУ МИСиС, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НИЯУ МИФИ и другие.



Участники конференции

На открытии конференции участников приветствовал академик-секретарь Отделения физических наук РАН, научный руководитель ИФТТ РАН академик РАН В.В. Кведер. В своем выступлении он подчеркнул, что физические науки сегодня определяют уровень и направления развития технического прогресса, а исследования в области физики конденсированных состояний охватывают различные научные аспекты: физику низких температур; гетероструктуры, физику высоких давлений, сильно коррелированные системы; физику неравновесных процессов, структуру и фазовые

переходы в конденсированных средах, фотонику, жаропрочные и жаростойкие материалы; аморфные материалы, композиционные материалы. Директор ИФТТ РАН, член-корреспондент РАН А.А. Левченко отметил, что конференция проходит в год 60-летия ИФТТ РАН и представил доклад об истории становления Института. Александр Алексеевич представил собравшимся Почетного члена ИФТТ РАН, избранного Ученым советом Института в 2023 году, академика РАН К.М. Салихова и вручил ему Диплом Почетного члена ИФТТ РАН.

Научную программу конференции открыл пленарный доклад академика К.М. Салихова о новой парадигме спинового обмена с учетом формирования коллективных мод в разбавленных растворах парамагнитных частиц. Кев Минуллинович рассказал о возможности управления молекулярными процессами за счет спинов и развитии спиновых технологий, которые являются энергосберегающими, так как для них требуются очень малые затраты энергии для изменения состояния спина.

В целом, за пять дней работы конференции было заслушано более 260 докладов, из них 13 пленарных, 140 устных и 99 стендовых, 19 докладов было сделано в онлайн формате. Пленарные доклады представили ведущие ученые в области физики конденсированного состояния: чл.-корр. РАН В.М. Пудалов, чл.-корр. РАН А.М. Смирнов, д.ф.-м.н. С.В. Зайцев-Зотов, проф. В.К. Долганов, д.ф.-м.н. И.В. Колоколов, д.ф.-м.н. Р.Ф. Мамин и другие. Выступления ведущих ученых чередовались с докладами молодых ученых, аспирантов и студентов, которые представили 38 устных и 45 стендовых презентаций. Участники ФКС-2023 отметили высокий научный уровень работ, представленных молодыми учеными. В целом на конференции уделялось особое внимание молодым участникам научного форума: была организована молодежная сессия, проведена экскурсия в лаборатории ИФТТ РАН.

Параллельно работали три секции: две в традиционном очном формате и одна в онлайн формате конференции ZOOM. На секциях были заслушаны результаты исследований, затрагивающих широкий спектр фундаментальных и прикладных проблем по различным научным направлениям физики конденсированного состояния. Традиционно много работ было представлено по физике низкоразмерных структур и

физике поверхности, заметно уменьшилось количество работ по исследованию фуллеренов, возможно это связано с тем, что за тридцать лет активного исследования фуллерены пока не нашли широкого применения. Добротные работы по исследованию сверхпроводимости все-сторонне охватывали разные аспекты этой тематики: от комнатных до низкотемпературных сверхпроводников для сверхпроводящей микроэлектроники. Возрос интерес к физике неравновесных процессов, большое количество презентаций на высоком научном уровне по этой тематике было сделано молодыми учеными. Среди многообразия работ по физическому материаловедению можно отметить доклады, в которых были представлены разработки, уже нашедшие применение на предприятиях реального сектора экономики (доклады чл.-корр. РАН М.И. Карпова; чл.-корр. РАН И.А. Буфетова, д.т.н. В.Н. Курлова, к.т.н. И.Б. Гнесина).



На экскурсии в лаборатории ИФТТ РАН.

Параллельно с ФКС-2023 в ИФТТ РАН работали две спутные конференции: Пятая школа молодых ученых “Новые материалы и технологии для систем безопасности” и IV Всероссийская конференция “Особенности применения сканирующей зондовой микроскопии в вакууме и различных средах”.

По традиции IV Всероссийская конференция “Особенности применения сканирующей зондовой микроскопии в вакууме и различных средах” собрала ведущих российских ученых, работающих в области сканирующей туннельной микроскопии и атомно-силовой микроскопии. На конференции обсуждались вопросы физики поверхности, микро- и наноструктур, гетероструктур и топологических изоляторов, разработки новых материалов, устройств и экспериментальных методик, особо важных для исследования работы элементов микроэлектроники, развития квантовых вычислений и биомедицинских

технологий. Анализируя представленные доклады, можно отметить развитие новых направлений по применению сканирующей зондовой микроскопии для исследования работы флэш-памяти на базе контролируемого замещения отдельных атомов или создания вакансий, характеристики быстрой оперативной памяти на базе джозефсоновских вихрей с предельно малым энергопотреблением. В представленных докладах были продемонстрированы новые возможности сканирующей зондовой микроскопии при исследовании биомолекул, а также изучении механических свойств отдельных живых биологических объектов и выращенных тканей с целью увеличения эффективности применения тканевой инженерии и расширения ее возможностей.

Активному обсуждению представленных результатов и новых идей способствовала дружеская, творческая атмосфера, сложившаяся на конференции благодаря сплоченной работе организационного комитета.

На закрытии Конференции председатель организационного комитета, директор ИФТТ РАН А.А. Левченко поблагодарил всех участников за интересные и содержательные доклады, за активное участие в дискуссиях и пригласил всех присутствующих на следующую конференцию, которая запланирована к проведению в 2025 году. В своем выступлении он подчеркнул, что с каждым годом наблюдается рост числа участников конференции и расширяется их география, что подтверждает высокий научный уровень мероприятия и актуальность ее тематики.



А.А. Левченко подводит итоги работы ФКС-2023.

О. Камынина

**Информационный бюллетень ПерсТ
издается информационной группой ИФТТ РАН**

Главный редактор: И. Чугуева, e-mail: ichugueva@yandex.ru

Научные редакторы К. Кугель, Ю. Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О. Алексеева, О. Камынина, М. Маслов, А. Пятаков, З. Пятакова

Выпускающий редактор: И. Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64