

Перст

Информационный бюллетень
перспективные технологии
наноструктуры сверхпроводники фуллерены

Том 31, выпуск 11

ноябрь 2024 г.



ХIII Международная конференция
“Фазовые превращения и прочность кристаллов”

Черноголовка

Том 31, выпуск 11

ноябрь 2024 г.

В этом выпуске:

ФОТОНИКА

Оптический, но не инфракрасный термометр: определение температуры по комбинационному рассеянию

Способов измерения температуры в науке и в быту очень много, и измерять температуру, казалось бы, очень просто. Большинство способов измерения температуры основаны на том, что некоторое тело приводится в тепловой контакт с исследуемым, и необходимо достичь теплового равновесия термометра и измеряемого тела. Недостатком таких способов, как мы знаем из личного опыта, является большое время измерения. К тому же обычный термометр уносит или приносит тепло, а значит, влияет на измеряемую температуру, при низких температурах и малых объемах исследуемых веществ это может быть очень критично. Этим недостатком лишены инфракрасные термометры, однако в некоторых веществах исследование тепловых свойств оптическим способом затруднительно.

К таким веществам относятся разупорядоченные твердые тела – двойные системы кристалл-жидкость, в которых наблюдается дальний порядок и локальный беспорядок. Такие системы обладают электронными свойствами, характерными для твердых тел, и тепловыми свойствами, характерными для жидкостей. В связи с этими особенностями стандартные оптические методы измерения температуры дают большую погрешность, сравнимую с самим значением температуры. Один из примеров таких веществ – галогениды свинца со структурой перовскита – перспективный материал для создания солнечных батарей.

Исследователи из Казанского федерального университета в своей недавней статье [1] предложили новый вариант термометрии в таких веществах, основанный на комбинационном рассеянии света. В работе экспериментально демонстрируется температурная зависимость ширины центрального пика для металл-галоидного перовскита CsPbBr_3 . Анализ проводился с помощью низкочастотной спектроскопии комбинационного рассеяния. Регистрация спектров осуществлялась на длине волны возбуждения 632.8 нм (гелий-неоновый лазер).

На рис. 1 показан низкочастотный спектр комбинационного рассеяния галоидного перовскита CsPbBr_3 при температуре 30 °С.

Достаточно часто для спектрального анализа в комбинационном рассеянии используют отношение стоксовой и

И далее ...

МУЛЬТИФЕРРОИКИ / ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВЫ МАТЕРИАЛЫ

- 4 Секрет “истинного”
мультиферроика –
антиферро-орбитальное
упорядочение

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

- 5 Нанопики чёрного кремния
прокалывают вирусы

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

- 7 Итоги работы XIII Между-
народной конференции
“Фазовые превращения
и прочность кристаллов”
(ФППК-2024)

КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 XXII Конференция “Сильно
коррелированные электрон-
ные системы и квантовые
критические явления”,
22 мая 2025 года
(ФИАН, Москва)

антистоксовой компонент, но для данного вида веществ отношение этих компонент оказалось практически не зависящим от температуры. Зато ширина центрального пика, по теоретическим расчетам, зависит от температуры линейно. Такая зависимость была подтверждена экспериментально (рис. 2).

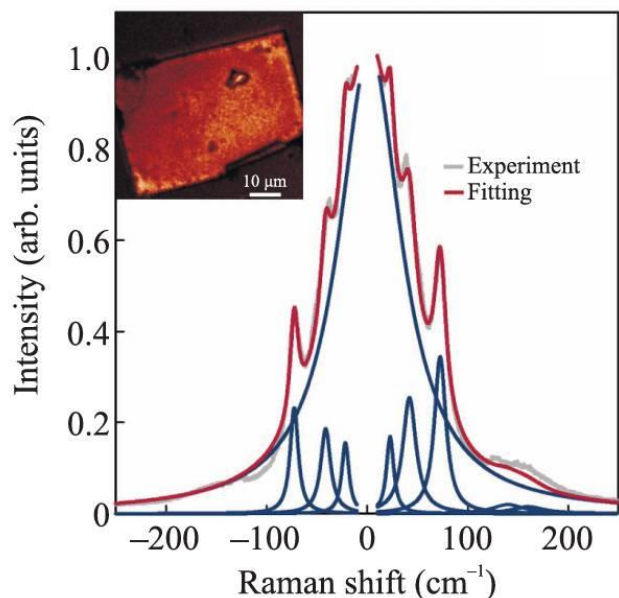


Рис. 1. Спектр комбинационного рассеяния CsPbBr₃. На вставке – фотография образца, полученная с помощью оптического микроскопа. Синие кривые – разложение спектра на компоненты.

Видно, что в рамках одной фазы имеет место линейная зависимость ширины центрального пика от температуры, а значит, ширина центрального пика в перовскитах может быть использована в качестве индикатора температуры вне фазовых переходов. Смена угла наклона в точке фазового перехода объясняется перестройкой кристаллической решетки, сопровождающейся скачкообразным изменением корреляционной длины. Однако при охлаждении есть ряд особенностей, как показано на рис. 2б, например, в β -фазе наблюдается аномальный рост ширины центрального пика при уменьшении температуры. Это вносит неоднозначность в процедуру определения температуры. Тем не менее, в связи с этими особенностями, температурная зависимость ширины центрального пика комбинационного рассеяния может послужить дополнительным методом определения фазовых переходов в перовскитах.

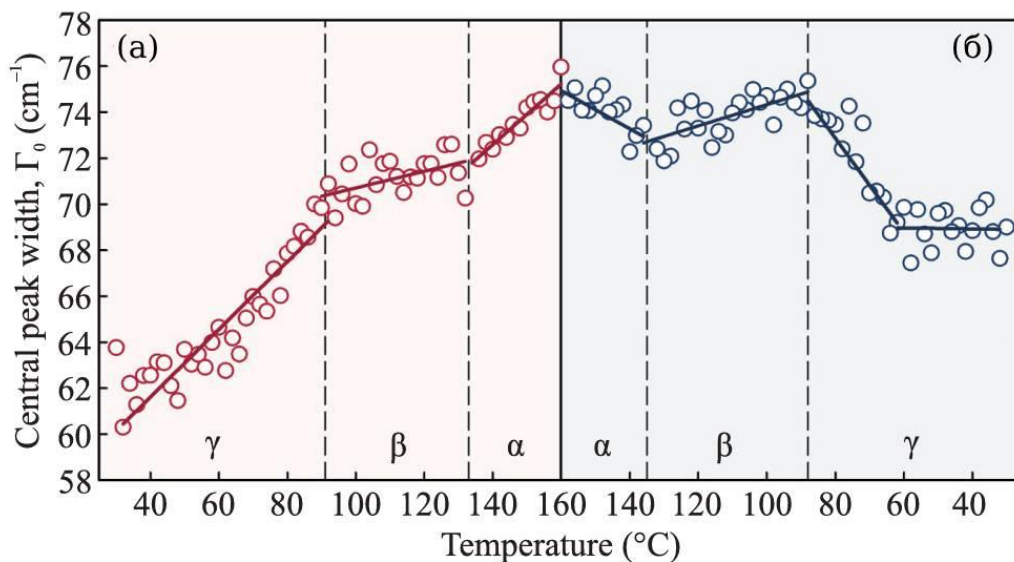


Рис. 2. Экспериментальная зависимость ширины центрального пика комбинационного рассеяния от температуры: а) - при нагревании, б) - при охлаждении. Скачки и изломы на графиках соответствуют температурам фазовых переходов между α , β , и γ -фазами.

Итак, результаты, полученные авторами [1], могут быть использованы для создания температурных датчиков нового поколения, позволяющих удаленно измерять температуру разупорядоченных и наноструктурированных твер-

дых тел, а также стать дополнительным способом исследования их внутренней структуры.

З. Пятакова

1. Э.И.Батталова, С.С.Харинцев, Письма в ЖЭТФ 120, 760 (2024).

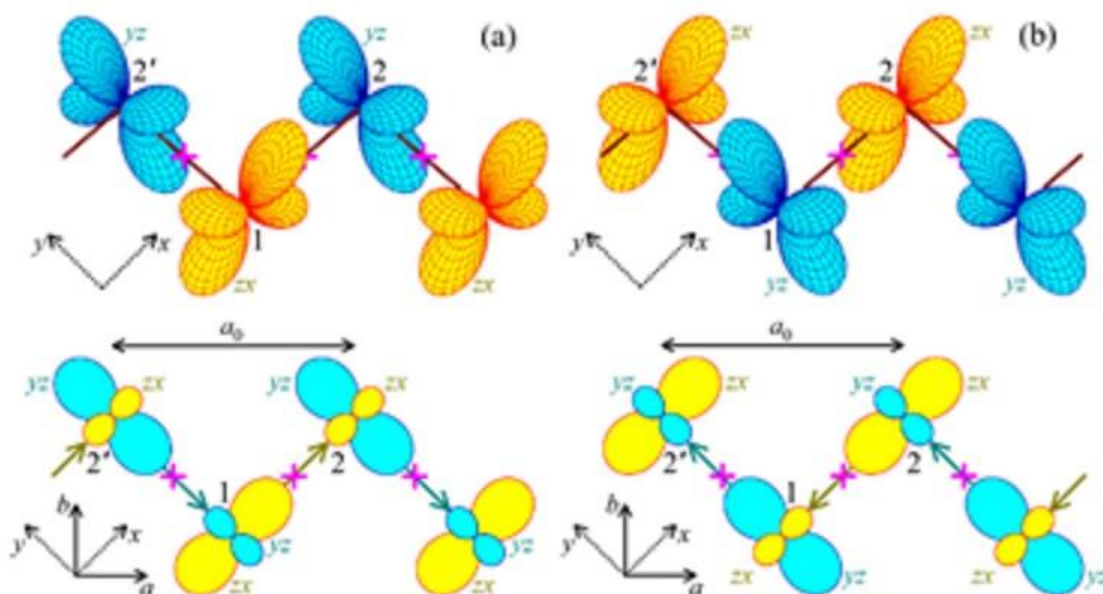
МУЛЬТИФЕРРОИКИ / ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВЫ МАТЕРИАЛЫ

Секрет “истинного” мультиферроика – антиферро-орбитальное упорядочение

Термин “мультиферроик” предполагает, что в данной среде сосуществуют несколько упорядочений, начинающихся с приставки “ferro”, таких традиционно выделяли три: ферромагнитное (ferromagnetic), сегнетоэлектрическое (ferroelectric) и сегнетоэластическое (ferroelastic) [1]. Однако ирония состоит в том, что магнитные сегнетоэлектрики упорядочены антиферромагнитно, а ферромагнитные диэлектрики в основном состоянии являются антисегнетоэлектриками. Редкие исключения лишь подтверждают правила: феррит висмута BiFeO_3 обязан своей намагниченностью небольшому скосу антиферромагнитных подрешеток [2], а другой перовскит – манганит висмута BiMnO_3 проявляет сегнетоэлектрические свойства лишь в некоторых образцах, что, по видимому, связано с неполной компенсацией дипольных моментов соседних элементарных ячеек [3], вызванной нестехиометрическим составом или механическими напряжениями. Один из механизмов проявления локального сегнетоэлектричества на магнитных доменных границах также предполагает раскомпенсацию антисегнетоэлектрических подрешеток [4].

В недавней публикации ученых из *Nat. Inst. for Mater. Science (Tsukuba)* и *Univ. of Osaka* (Япония) [5] предлагается механизм возникновения в ферромагнетике электрической поляризации за счет орбитального упорядочения, который позволит находить “истинные” мультиферроики, полностью оправдывающие свое название.

Магнитный сегнетоэлектрик по определению должен быть диэлектрическим материалом, значит магнитное упорядочение в нем обусловлено типичным для изоляторов косвенным обменным взаимодействием. Пусть обменные связи расположены так, что благоприятствуют ферромагнитному упорядочению. При этом у электронов остается еще орбитальная степень свободы, которая также может образовывать свое орбитальное упорядочение, соответствующее минимуму энергии уже при заданном спиновом упорядочении. Данный тип орбитального упорядочения, который носит название *механизма Кугеля-Хомского*, ранее рассматривался вне контекста мультиферроиков – для анализа спиновых и орбитальных свойств манганитов с колоссальным магнитосопротивлением и перовскитов переходных металлов, в которых магнитные ионы располагаются на centrosymmetric позициях, и всякая возможность появления электрической поляризации исключается.



Орбитальное упорядочение в система магнитных ионов типа “зигзаг”: **a** - электрическая поляризация направлена по оси *a*; **b** - электрическая поляризация направлена против *a*-оси [5]. Центр инверсии показан сиреневыми крестами. Стрелками показан перенос электронной плотности за счет обмена (от больших “гантелей” к малым).

Рецепт “истинного мультиферроика” от авторов [5] сводится к следующему: надо найти такой материал, в котором центр инверсии располагался бы между магнитными ионами, принадлежащих двум противоположным “антиферро-орбитальным” подрешеткам. Другими словами, упомянутое выше “проклятье антиферро-упорядочения” переносится на третью, орбитальную, подсистему, а магнитная и сегнетоэлектрическая остаются ферроупорядоченными. Интересно отметить, что при ферро-орбитальном упорядочении магнитное упорядочение становится антиферромагнитным, так что хоть одна подсистема из трех должна быть анти-ферроупорядоченной.

Схематическое изображение такого упорядочения в зигзагообразной цепочке магнитных ионов представлено на рисунке: *d*-орбитали, стремясь уменьшить энергию электронов согласно механизму Кугеля-Хомского, располагаются в шахматном порядке. При этом центр инверсии, расположенный между ионами, оказывается нарушенным: ионы расположены идеально симметрично (структурных искажений нет), одинаково намагничены, но принадлежат двум подрешеткам с ортогонально расположенными орбиталями. Нарушение центральной симметрии проявляется и в возникновении электрических дипольных моментов направленных вдоль связей цепочки и приводящих к макроскопической электрической поляризации, направленной вдоль цепочки вправо или влево (см. рис.).

Пока авторы [5] не представили большого списка подобных соединений и предлагают поискать их “под фонарем”, то есть там, куда обращено внимание большого числа исследователей в области магнетизма - среди двумерных и ван-дер-ваальсовых магнетиков. В качестве кандидата на роль “истинного” мультиферроика предлагается VI_3 , расчету свойств которого из первых принципов уделен основной объем статьи [5]. В результате показано, что хотя экспериментальные сведения о кристаллической симметрии VI_3 остаются противоречивыми, существуют как высокотемпературная, так и низкотемпературная (температура Кюри 50 К) фазы, в которых остается центр симметрии в кристаллической решетке, но он нарушается за счет орбитального упорядочения.

А. Пятаков

1. H.Schmid, *Ferroelectrics* **162**, 317 (1994).

2. А.М.Кадомцева и др., *Письма в ЖЭТФ* **79**,

705 (2004).

3. P.Baettig, et al., *J. Am. Chem. Soc.* **129**, 9854 (2007).

4. A.I.Popov, et al., *Phys. Rev. B* **90**, 214427 (2014).

5. I.V.Solovyev, et al., *Phys. Rev. B* **110**, 205116 (2024).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

Нанопики чёрного кремния

прокалывают вирусы

Ученые в разных странах активно занимаются разработкой наноструктурных поверхностей, имеющих антибактериальную и противовирусную активность. Тщательное изучение крыльев цикад, а позднее и стрекоз, помогло австралийским исследователям выяснить, что гибель попавших на них бактерий обусловлена наличием острых столбиков, повреждающих клеточные мембраны. Из черного кремния, поверхность которого покрыта похожими наностолбиками, учёные создали биомиметические бактерицидные материалы (подробнее об этих исследованиях и о “черном кремнии” рассказано в ПерсТe [1]). Позднее на основе других материалов (например, графеновых чешуек, углеродных нанотрубок, нанопроволок и наностолбиков TiO_2) были получены наноструктурные покрытия, защищающие от бактерий [2], и разработаны титановые наноструктуры, обладающие противогрибковой эффективностью [3]. Новые важные результаты относятся к борьбе с вирусами [4]. И снова чёрный кремний! На этот раз в работах, проводимых австралийскими учеными, участвовали исследователи из Испании и Японии. Опубликованы результаты о гибели (~96%!) вируса 3 НРIV-3 (это вирус парагриппа человека, который вызывает ларингит, ложный круп и даже развитие бронхоолита и пневмонии). Основная цель исследований – разработать и оптимизировать противовирусные поверхности, уделяя особое внимание выяснению роли острых элементов наноструктуры.

Чёрный кремний, как и в работе [1], получили методом реактивного ионного травления с использованием SF_6/O_2 . Изменяя время травления, можно создавать необходимые элементы наноструктуры, регулировать их высоту, промежутки между ними. SEM изображения исходной гладкой Si пластины и наноструктуры, полученной после её травления, показаны на рис. 1. Высота нанопиков ~ 290 нм, диаметр кончиков около 2 нм, промежутки ~ 60 нм.

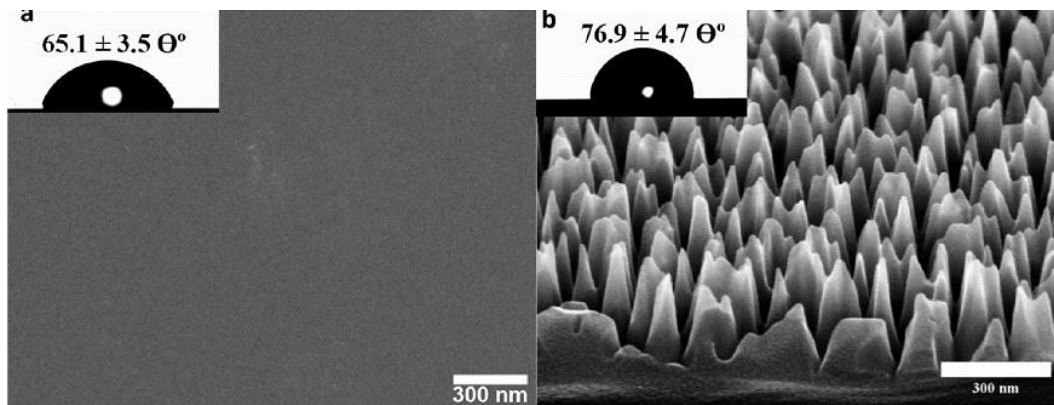


Рис. 1. SEM изображения (а) гладкой (исходной) Si пластины и (б) нанопиков, полученных в результате травления. На врезках показан краевой угол смачивания.

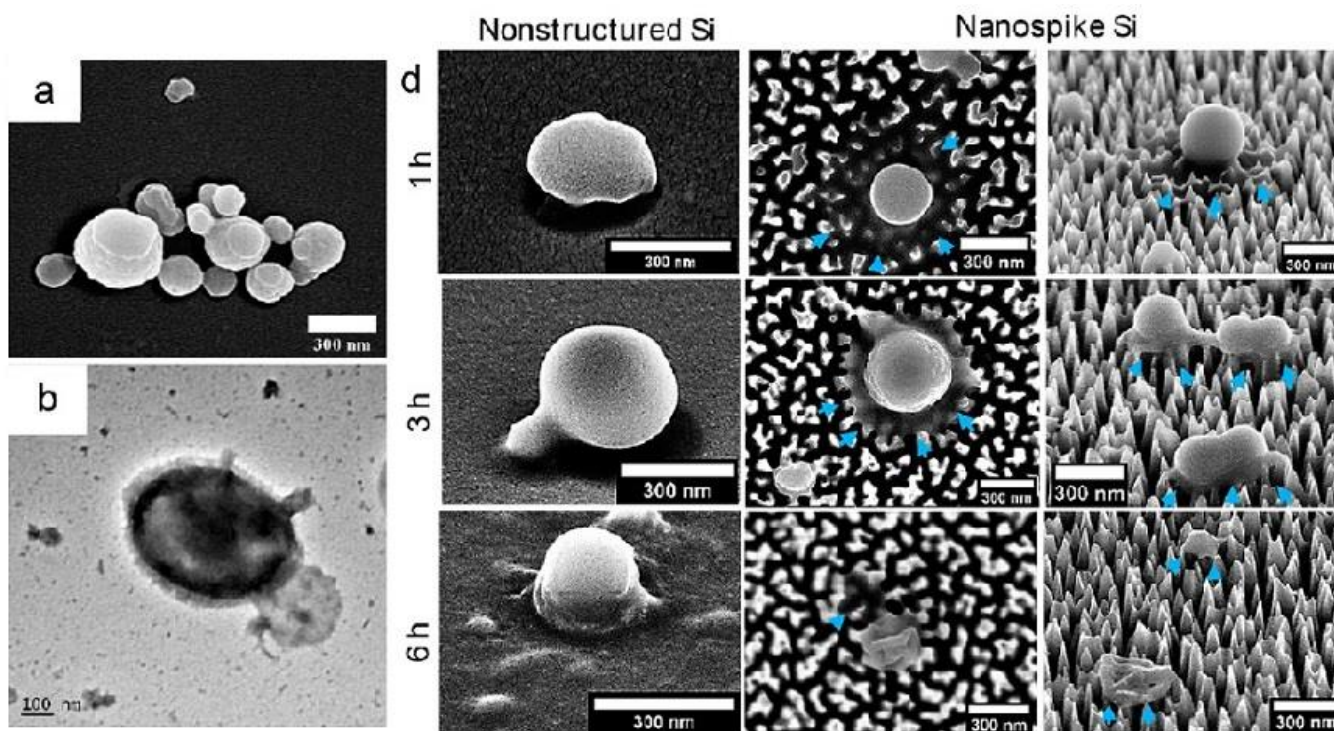


Рис. 2. (а) SEM и (б) TEM изображения НРIV-3 на гладкой поверхности кремния. (с) SEM изображения НРIV-3 на гладкой (левый столбец) и наноструктурной поверхности кремния (вид сверху и под углом). Синие стрелки указывают на выход внутриклеточной жидкости и повреждение мембраны.

Было изучено изменение морфологии вирусных частиц в зависимости от времени инкубации на Si поверхности (1, 3 и 6 часов) (рис. 2). Вирусные частицы сферические, размеры большинства из них в диапазоне 140-220 нм. На гладкой поверхности они сохраняют свою форму даже после 6 часов инкубации. В противоположность этому на наноструктурной поверхности морфология меняется. Острые кончики пиков проникают в вирусные частицы и деформируют их уже через час инкубации (особенно хорошо это видно на наклонных изображениях в правом столбце). Мембрана растягивается, повреждается, выходит внутриклеточная жидкость, а через 6 часов вирусы сжимаются.

На изображении, полученном с помощью криоэлектронной микроскопии, видно, как кончик нанопика прокалывает оболочку вируса и проникает внутрь (рис. 3).

Для оценки жизнеспособности вирусов был использован анализ бляшкообразования и другие биологические методы. Исследования показали, что инфекционность вирусов на наноструктурной поверхности снижается на 96%.

Механизм действия наноструктурных поверхностей на вирусы, размер которых меньше 1 мкм, досконально не изучен. Авторы [4] использовали теоретическое моделирование, представив вирус в виде сферы, а нанопики на кремнии в виде наноконусов.

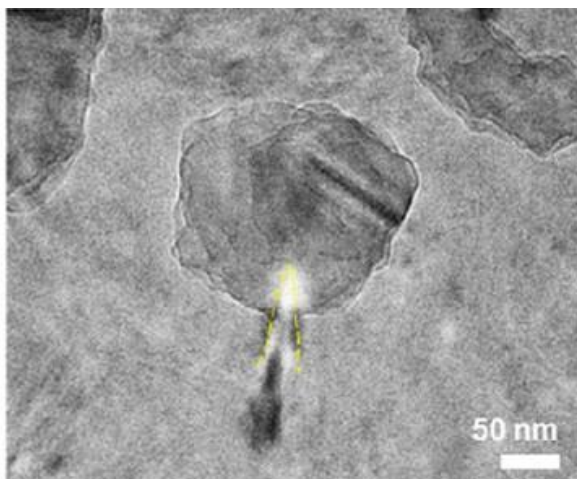


Рис. 3. CryoTEM изображение HPIV-3 на нанопике Si через 6 часов инкубации. Желтая пунктирная линия показывает проникновение пика в вирус.

Результаты показали, что в случае контакта с единичным нанопиком, уничтожение вируса происходит в результате прокола мембраны. Если вирус взаимодействует с несколькими нанопиками, клеточная мембрана растягивается между ними, и происходит ее разрыв. Такой анализ показывает, как и где возникают максимальные напряжения, и какие конфигурации пиков могут разрушить оболочку вируса.

Дальнейшие исследования геометрических параметров наноструктур на разнообразных материалах помогут создать наноструктурные поверхности, эффективно нейтрализующие широкий спектр вирусов.

О. Алексеева

1. [ПерсТ 21, вып. 1/2, с.7 \(2014\).](#)
2. [ПерсТ 28, вып. 1/2, с.1 \(2021\).](#)
3. [ПерсТ 30, вып. 10, с.1 \(2023\).](#)
4. *S.W.L.Mah et al., ACS Nano 18, 1404 (2024).*

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

Итоги работы XIII Международной конференции “Фазовые превращения и прочность кристаллов” (ФППК-2024)

В период с 28-го октября по 1-е ноября 2024 года в Черноголовке состоялась XIII Международная конференция “Фазовые превращения и прочность кристаллов” (ФППК-2024) памяти академика Г.В. Курдюмова. Организаторами конференции выступили Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук (ИФТТ РАН), Межгосударственный координационный совет по физике прочности и пластичности материалов и Научный центр металловедения и физики металлов (ГНЦ ФГУП “ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина”).

ПерсТ, 2024, том 31, выпуск 11

Тематика конференции охватывает широкий спектр экспериментальных и теоретических исследований в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и смежных дисциплин. Понимание взаимосвязей “синтез–обработка–структура–свойства” позволяет не только получать материалы с заданными характеристиками и прогнозировать их поведение в условиях эксплуатации, но и создавать принципиально новые материалы, необходимые для инновационных решений в различных областях промышленности.

По традиции Конференция открылась церемонией вручения Почетных медалей имени академика Г.В. Курдюмова “За выдающиеся заслуги в области физического металловедения”. В 2024 году лауреатами Почетной медали стали директор Института физики перспективных материалов УУНиТ, д.ф.-м.н. Р.З. Валиев, г.н.с. ИФМ УрО РАН, д.ф.-м.н. Ю.Н. Горностырев и д.ф.-м.н., профессор СПбГУ Н.Н. Реснина. Стоит отметить, что по рейтингу цитируемости ученых мира международного научного издательства Elsevier 2023 года, Р.З. Валиев занял 1-е место в России и 771-е в мире среди 200 тысяч коллег.

Научную программу конференции открыли пленарные доклады ученых, награжденных медалями имени академика Г.В. Курдюмова. В своем выступлении Ю.Н. Горностырев рассказал о результатах теоретического исследования формирования сегрегаций границ зерен, комбинируя методы молекулярной динамики и Монте-Карло, и показал, что образование сегрегаций обычно сопровождается перестройкой структуры границ зерен и взаимозависимостью этих процессов. Р.З. Валиев, основываясь на результатах экспериментальных исследований, показал возможность получения методами интенсивной пластической деформации материалов, характеризующихся оптимальным сочетанием прочности и пластичности, высокой электропроводности и коррозионной стойкости и т.д. Такие материалы, обладающие улучшенными механическими и функциональными свойствами, весьма привлекательны для решения многих задач в авиакосмической отрасли, машиностроении и медицине. Вопросы разработки новых сплавов с памятью формы на основе никелида титана в своем докладе рассмотрела Н.Н. Реснина, показав перспективность введения в их состав таких элементов как гаф-

ний, цирконий, медь и кобальт, что значительно расширяет температуры мартенситного превращения и улучшает свойства полученных материалов.

Мероприятие проходило в смешанном формате. За время работы конференции было сделано 128 докладов: 18 – пленарных, 37 – устных, из них 10 сделано в рамках работы молодежной сессии; 60 – стендовых и 13 – устных докладов в он-лайн формате.

Несмотря на большой диапазон научных исследований в области материаловедения, представленных на конференции, среди них можно выделить наиболее обсуждаемые. Большое количество докладов было посвящено:

а) аморфным металлическим материалам – С.В. Васильев, Е.А. Свиридова (*ДонФТИ, Донецк*), Г.Е. Абросимова, А.С. Аронин, В.В. Чиркова (*ИФТТ РАН, Черногоровка*);

б) высокоэнтропийным сплавам: А.Ю. Иванников (*ИМЕТ РАН, Москва*), Е.Г. Астафурова (*ИФПМ СО РАН, Томск*);

в) исследованиям влияния интенсивной пластической деформации и термомеханической обработки на структуру и свойства материалов: Д.В. Гундеров (*УФИЦ РАН, Уфа*), Д.Л. Мерсон (*ТГУ, Тольятти*).

Особый интерес на научных конференциях вызывают работы, в которых представлены не только новые фундаментальные результаты, но и перспективные технологические разработки. С.В. Коротовская (*НИЦ “Курчатовский институт” – ЦНИИ КМ “Прометей”, Санкт-Петербург*) рассказала о новых разработках ферритных и мартенситных сталей для отечественного кораблестроения. В работе А.Э. Федосеевой (*НИУ БелГУ, Белгород*) “Влияние термомеханической обработки на сопротивление ударным нагрузкам и сопротивление ползучести 12% Cr сталей” предложены способы повышения пластичности высокохромистых сталей – перспективных материалов для теплоэнергетики.

По окончании пленарных заседаний первого дня работы конференции состоялся вечер воспоминаний, посвященный А.М. Глезеру, активному инициатору и организатору Международной конференции “Фазовые превращения и прочность кристаллов”. В память об Александре Марковиче, крупном ученом в области разработки структурно-физических основ создания высокопрочных сплавов с различными па-

раметрами атомного и кристаллического упорядочения, прозвучали теплые слова его учеников и коллег.



После успешного выполнения научной программы участники конференции посетили научные лаборатории ИФТТ РАН и познакомились с научным оборудованием Центра коллективного пользования.

Подводя итоги работы ФППК-2024, сопредседатель организационного комитета Б.Б. Страумал отметил обширную географию участников конференции, представляющих российские научные организации и ВУЗы от Санкт-Петербурга до Иркутска, от Махачкалы до Томска. В своем выступлении Борис Борисович отдельно поблагодарил коллег из ДНР, представителей Донецкого физико-технического института им. А.А. Галкина и Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (*Макеевка*), которые не только смогли найти возможность участвовать в работе конференции, но и представили научные доклады на высоком научном уровне. Международный статус конференции подтверждали участники из Республики Казахстан и Республики Беларусь, а также многочисленные соавторы докладов из Китая, Вьетнама, Болгарии и Финляндии.

На церемонии закрытия конференции лучшие доклады участников молодежной сессии были награждены дипломами и памятными призами. Победителями стали: Дарья Корепина (*НИТУ МИСИС*) “Влияние параметров лазерного плавления и способа получения порошка на структуру и механические свойства алюминиевого композиционного материала”; Булат Атанов (*ИФТТ РАН*) “Влияние скорости протяжки углеродного волокна через расплав алюминий-висмут на механические свойства получаемого композита” и Тимофей Ребров (*СПбГУ, Санкт-*

Петербург) “Моделирование эффекта стабилизации мартенсита после незавершенного прямого превращения под нагрузкой”.



Тимофей Ребров (СПбГУ, Санкт-Петербург)

В заключение сопредседатель организационного комитета Б.Б. Страумал поблагодарил участников Конференции за интересные доклады и активное участие в дискуссиях. Конференция в очередной раз подтвердила актуальность обсуждаемых проблем, перспективность научных исследований и высокий качественный уровень предлагаемых решений, что способствует разработке и созданию новых материалов для отечественной индустрии, энергетики и медицины.

По результатам работы Конференции издан сборник тезисов с присвоением ISBN, который будет проиндексирован в базе РИНЦ. Всем тезисам, вошедшим в сборник, присвоен цифровой идентификатор DOI.

О. Камынина

КОНФЕРЕНЦИИ

XXII Конференция “Сильно коррелированные электронные системы и квантовые критические явления”, 22 мая 2025 года (ФИАН, Москва)

22 мая 2025 года в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН состоится XXII Конференция “Сильно коррелированные электронные системы и квантовые критические явления”.

Традиционно на Конференции будут представлены материалы по таким темам, как магнитные и Кондо системы, волны зарядовой и спиновой плотности, топологические материалы, включая топологические изоляторы и полуметаллы, сверхпроводимость и топологические сверхпроводники, сверхпроводники с магнитным упорядочением, электронное фазовое расщепление, фазовые переходы и критические явления, влияние давления на физические свойства и пр.

Информация о научной тематике конференции, составе Программного и Организационного комитетов и деталях регистрации будет размещена позднее на сайте конференции <http://sces.lebedev.ru>.

В ФИАН работает семинар по физике конденсированного состояния и фазовым переходам (см. сайт семинара <http://phase.lebedev.ru>).

**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, А. Пятаков, З. Пятакова

Выпускающий редактор: И. Фурлетова