

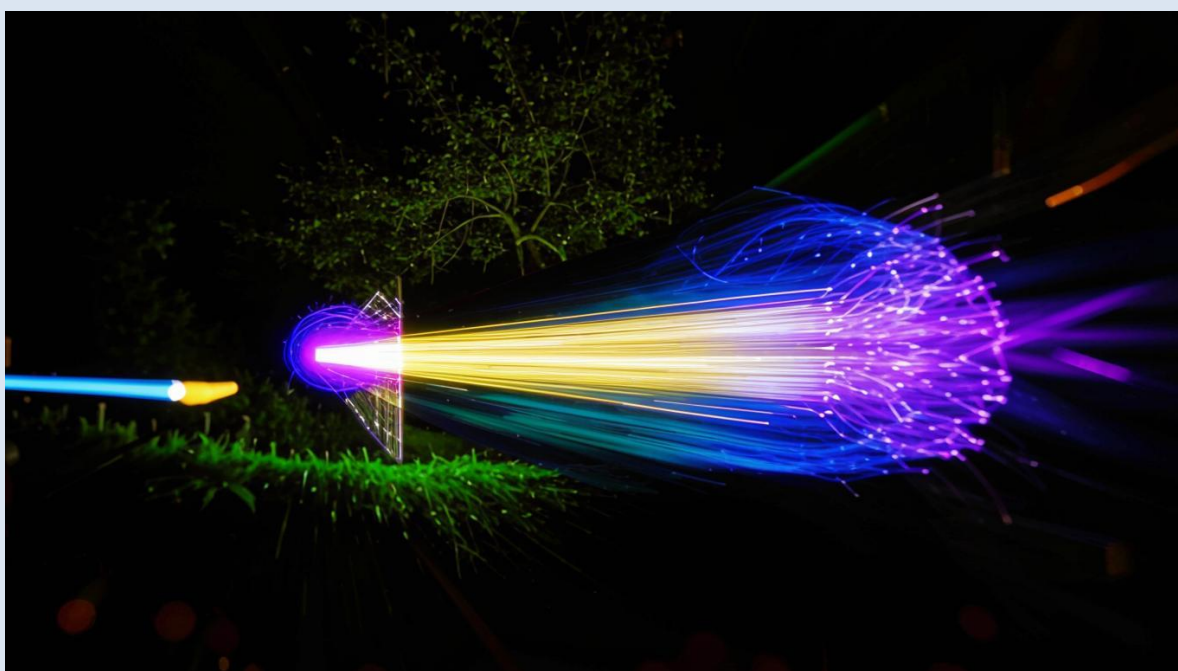
Перст

Информационный бюллетень

перспективные технологии
наноструктуры сверхпроводники фуллерены

Том 33, выпуск 3

март 2026 г.



<https://components.ru/news/kremnievaya-fotonika/>

Черноголовка

Том 33, выпуск 3

март 2026 г.

В этом выпуске:

НАНОСТРУКТУРЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ**Уроки природы. Синтез уникальных брохосом**

Изучение брохосом, природных наночастиц с уникальными оптическими свойствами, вдохновляет ученых на создание синтетических аналогов. Эти полые сферические гранулы с ячеистой поверхностью, похожие на фуллерены, образуются в мальпигиевых сосудах различных цикадок. Синтезировать наноструктуры с подобной архитектурой очень сложно. Перст рассказывал, что ученые из Pennsylvania State Univ. (США) предложили эффективный способ – 3D печать на основе лазерной полимеризации (метод двухфотонной трехмерной лазерной нанопечати) [1]. Однако синтезированные брохосомы имели диаметр около 20 мкм и диаметр сквозного отверстия около 5 мкм, тогда как размер природных в диапазоне от 250 нм до 2,5 мкм, а диаметр пор от 50 нм до 1 мкм. Недавно исследователи из Pennsylvania State Univ. (США) представили новый высокопроизводительный способ синтеза наноструктур, аналогичных природным брохосомам по морфологии и размерам [2]. Помогло изучение природного процесса формирования брохосом в мальпигиевых сосудах, специальном отделе органов выделения цикадок (рис. 1).

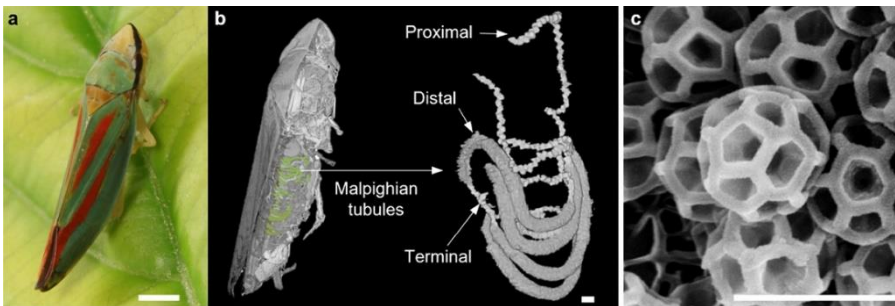


Рис. 1. а – Цикадка (масштаб 1 мм). б – Мальпигиевые сосуды (масштаб 100 мкм). в – Природные брохосомы (масштаб 500 нм).

Исследования, в том числе и с участием российских ученых [3], показали, что брохосомы состоят из белков и липидов. Разнообразная морфология природных брохосом основана на изменении белкового компонента на молекулярном уровне. Вдохновившись подсказкой природы, ученые [2] разработали капельную микрофлюидную платформу (рис. 2). Для синтеза наночастиц, подобных брохосомам, они использовали амфифильные блок-сополимеры. В микрофлюидную систему поступают растворитель, содержащий амфифильные блок-сополимеры (имитация белков) и вода с поверхностно-активным веществом (имитация жиров). Платформа

И далее ...

ФОТОНИКА

- 4 Акустооптический спектрометр для сортировки пластика

МУЛЬТИФЕРРОИКИ. ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- 5 Ван-дер-ваальсов бутерброд: как металл может стать мультиферроиком

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 6 2D-сети C₆₀ для фототермической терапии

КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 Международная конференция “Нанюглерод и Алмаз” (НиА’2026), 29 июня – 3 июля 2026, г. Санкт-Петербург, Россия

Moscow International School for Young Scientists on Functional Quantum Materials, August 11-15 2026, MSU, Moscow

превращает эти несмешивающиеся потоки в монодисперсные капли, содержащие блок-сополимеры (рис. 2a,b). Под действием поверхностного натяжения происходит самосборка

полимеров внутри капли растворителя и, по мере испарения растворителя, блок-сополимер затвердевает, и формируется структура (рис. 2d,e).

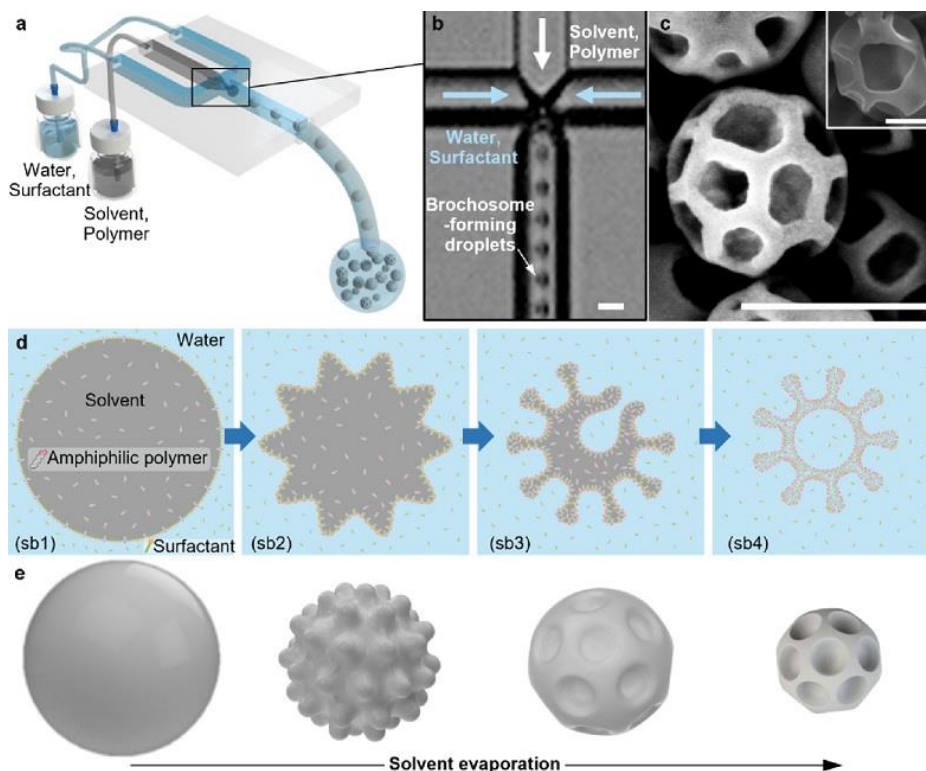


Рис. 2. Микрофлюидная платформа и синтетические брохосомы. **a** – Схема платформы, аналога мальпигиевых сосудов цикадки; **b** – оптическое изображение образовавшихся монодисперсных капель, содержащих полимеры (масштаб 10 мкм); **c** – SEM изображение синтетических брохосом (масштаб 500 нм и 250 нм на врезке); **d, e** – схема формирования брохосом при испарении растворителя.

Подбирая соотношение гидрофобных и гидрофильных доменов и молекулярный вес блок-сополимеров, можно регулировать поверхностное натяжение капель и тем самым контролировать диаметр частиц, геометрию пор, толщину стенок. Исследователям удалось синтезировать брохосомы, подобные по архитектуре брохосомам пяти разных цикадок. Размеры частиц от 390 нм до 2 мкм и диаметры пор от 30 до 130 нм.

Отличительной чертой мальпигиевых сосудов цикадок является способность производить большое количество монодисперсных брохосом определенной геометрии. Исследователи продемонстрировали, что разработанная ими микрофлюидная платформа позволяет с высокой производительностью синтезировать монодисперсные брохосомы (рис. 3). Капли растворителя образуются непрерывно, и его последовательное испарение приводит к формированию окончательной структуры. Производительность платформы превышает 10^5 синтетических брохосом в секунду. Средний диаметр

этих брохосом 805 нм, а диаметр пор 230 нм (рис. 3b).

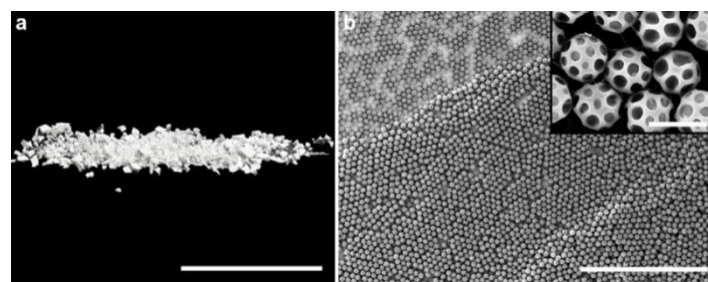


Рис. 3. Высокопроизводительный синтез монодисперсных брохосом. **a** – Оптическое изображение ~ 10 мг порошка синтетических брохосом (масштаб 1 см). **b** – SEM изображение при разном увеличении (масштаб 20 мкм и 1 мкм на врезке).

Известно, что благодаря слою брохосом на крыльях цикадок снижается отражение видимого и УФ света. Авторы [2] проверили оптические свойства синтетических брохосом, размещенных на кварцевой подложке, и выяснили, что отражение снижается даже сильнее, чем для природных брохосом такой же геометрии.

Непрерывный высокопроизводительный способ синтеза брохосом не только позволяет разобраться, как молекулярный дизайн управляет морфологической эволюцией, но и открывает новые возможности использования этих удивительных наночастиц в оптике, энергетике и биомедицине.

О. Алексеева

1. *ПерсТ* 31, вып. 7/8 с.1 (2024).
2. J.Choi et al., *ACS Nano* 19, 50, 42175 (2025).
3. R.Rakitov et al., *Insect Biochem. Mol. Biol.* 94, 10 (2018).

ФОТОНИКА

Акустооптический спектрометр для сортировки пластика

В последнее время проблема обращения с пластиковыми отходами стала одним из наиболее острых экологических и экономических проблем глобального масштаба. Качественная переработка пластика ограничена сложностью разделения множества компонент на чистые фракции по типам полимеров, ведь даже незначительные примеси в сырье ведут к ухудшению качества вторичных изделий. В связи с этим разработка систем автоматизированной идентификации, способных в реальном времени различать спектрально близкие материалы, становится критическим условием для перехода к промышленной переработке пластика.

В недавней статье [1] исследователь из физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова предложил использовать акустооптический спектрометр для разделения 12 самых распространенных видов пластика по спектрам отражения в ближнем ИК-диапазоне длин волн 1.12–1.75 мкм. Особенностью акустооптических устройств является возможность быстрого снятия спектров отражения или поглощения в широком диапазоне длин волн.

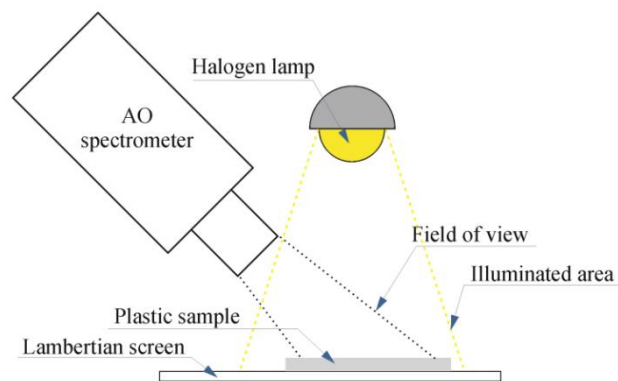


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Образец пластика, расположенный на ламбертовской поверхности (поверхности, отражающей одинаково во всех направлениях без бликов) освещается галогеновой лампой, отраженные от образца лучи анализируются акустооптическим спектрометром.

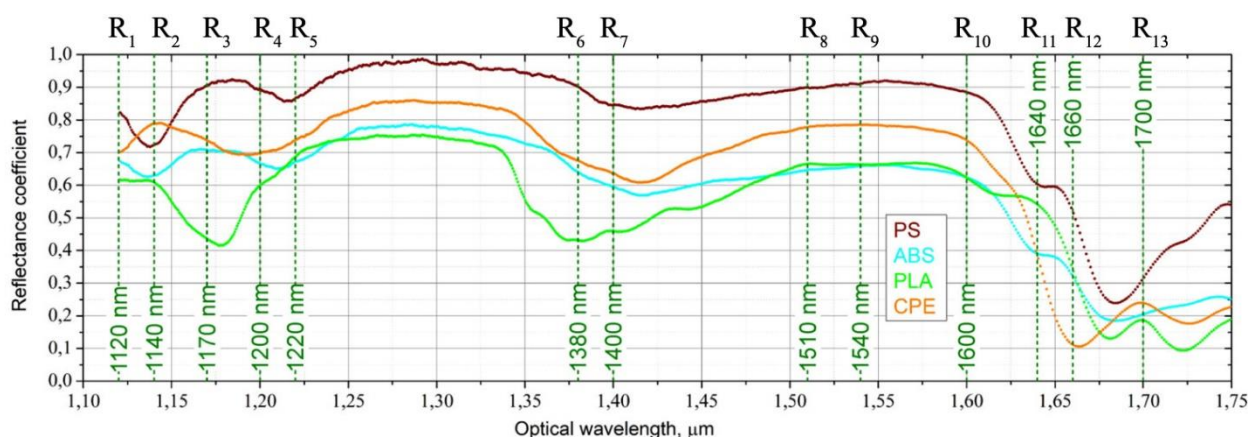


Рис. 2. Спектры отражения четырех видов пластика и характерные длины волн для сравнения.

В спектре отражения пластика выделяются 13 характерных длин волн (см. рис.2), и сравниваются коэффициенты отражения на этих длинах волн.

В статье разработана методика сравнения коэффициентов отражения R_1 , R_2 , R_{13} , позволяющая рассортировать 12 видов пластика, наиболее

часто употребляемых в быту. Схема сравнения представлена на рис. 3.

Так как провести расчеты и сравнения по алгоритму современные электронные устройства позволяют довольно быстро, то можно ожидать, что представленная в статье схема будет

удовлетворяют требованиям скорости и дешевизны, предъявляемых промышленностью.

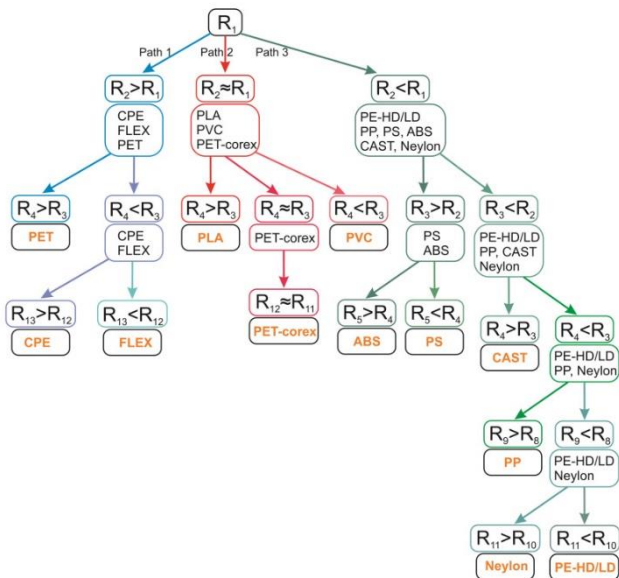


Рис. 3. Алгоритм сортировки 12 видов пластика по 13 коэффициентам отражения.

3. Пятакова

1. S.N.Mantsevich, *Appl. Optics* **65**, 6, 1745 (2026).

МУЛЬТИФЕРРОИКИ. ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВЫ МАТЕРИАЛЫ

Ван-дер-ваальсов бутерброд: как металл может стать мультиферроиком

Словосочетание “металлический мультиферроик” до недавнего времени звучало оксюморонно, поскольку наличие свободных носителей заряда в металлах препятствует проявлению едва ли не главного признака мультиферроика – сегнетоэлектричества. Однако с появлением ван-дер-ваальсовых материалов, состоящих из двумерных слоев, слабо связанных между собой, привычные правила изменились. Действительно, толщина каждого из молекулярных монослоев недостаточна для экранировки электрического поля, приложенного в направлении нормали к слоям, с другой стороны и проводимость в этом направлении может быть существенно меньше, чем в плоскости слоя: оставаясь металлом внутри слоя, вещество может проявлять свойства изолятора в поперечном направлении.

Второе свойство мультиферроика – наличие магнитного упорядочения – хотя и не противоречит металлическому состоянию, но вызывает вопросы уже со стороны двумерной геометрии слоев. Долгое время считалось, что магнитный порядок в двумерных кристаллах невозможен,

ПерсТ, 2026, том 33, выпуск 3

и, хотя открытые десять лет назад ван-дер-ваальсовые магнетики заставили пересмотреть и это представление, большая часть таких материалов проявляет магнитные свойства лишь при низких температурах и в силу самой своей геометрии весьма чувствительна к дефектам на поверхностях и химическому воздействию, быстро деградируя на воздухе.

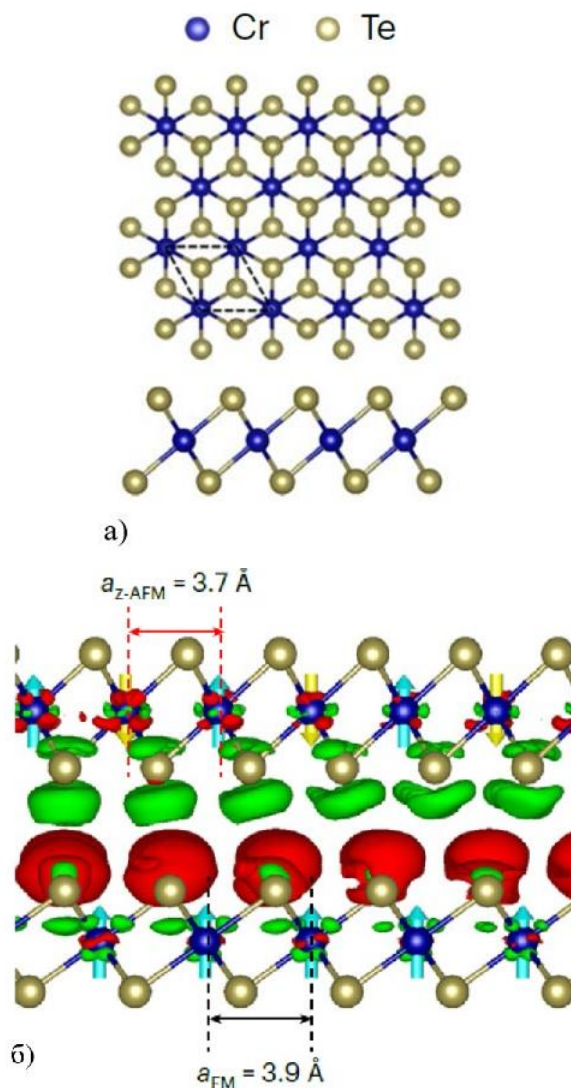


Рис. 1. **а** – Вид сверху и сбоку (внизу) на монослой дителлурида хрома CrTe_2 ; **б** – двойной слой CrTe_2 : верхний слой, с периодом кристаллической ячейки 3.7 \AA , находится в антиферромагнитном состоянии, нижний – с периодом 3.9 \AA в ферромагнитном (спины различных магнитных подрешеток ионов хрома показаны желтыми и голубыми стрелками). Красным и зеленым цветами показаны, соответственно, повышенная и пониженная концентрации электронной плотности.

Тем более удивителен результат, представленный в начале марта китайскими учеными в журнале *Nature Materials*: они получили двумерный материал на основе соединения дителлурида хрома (CrTe_2 , рис. 1) со стойкими

свойствами мультиферроика, проявляющимися при нормальных условиях [1].

В чем же секрет материала, воплотившего давнюю мечту всех, кто занимается мультиферроиками? Он представляет собой своеобразный бутерброд: напыленные методом молекулярно-лучевой эпитаксии два слоя, описываемые одной и той же химической формулой CrTe_2 , но отличающиеся друг от друга кристаллически, магнитными и электрическими свойствами (рис. 1б).

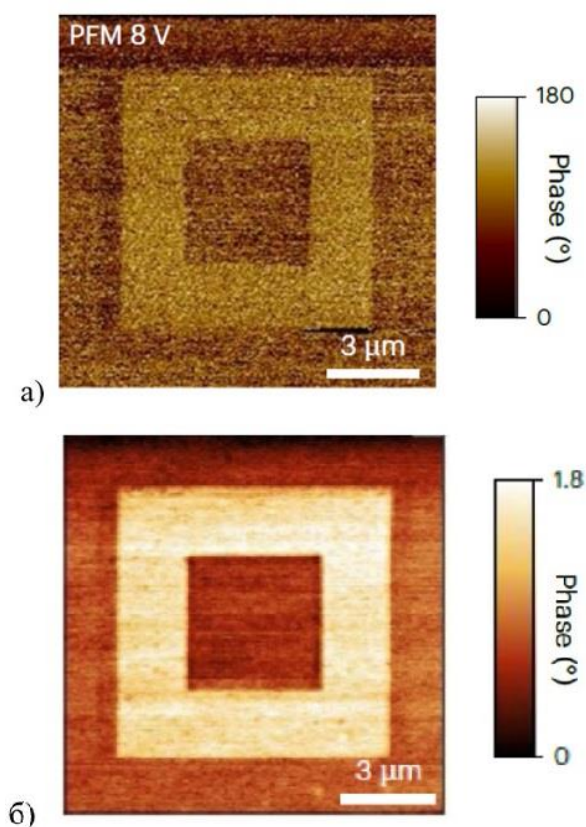


Рис. 2. Изображение поверхности двойного слоя CrTe_2 после воздействия электрического поля (путем приложения электрического смещения к образцу относительно иглы кантилевера): **а** – фазовый контраст в режиме микроскопии пьезоэлектрического отклика, соответствующего сегнетоэлектрической поляризации; **б** – фазовый контраст в режиме магнитной силовой микроскопии демонстрирует корреляцию магнитных и сегнетоэлектрических доменов.

Один из слоев имеет ферромагнитное упорядочение, характерное и для монослоев дителлурида хрома, а второй – антиферромагнитное, отличаясь от первого меньшей постоянной решетки и меньшей электронной плотностью. Последнее обстоятельство означает, что антиферромагнитный слой заряжается положительно относительно ферромагнитного, то есть помимо магнитного упорядочения имеет место

еще и электрическая поляризация в направлении, перпендикулярном слоям. При этом каждый из слоев остается металлическим, что, вероятно, и объясняет стойкость магнитных свойств к воздействию атмосферного воздуха: изменить за счет примесей и адсорбированных атомов электронные и магнитные свойства металла намного труднее, чем полупроводника.

Можно было бы назвать этот материал гетероструктурой и списать его свойства на различие условий, в которых находится верхний свободный слой и лежащий на подложке из карбида кремния с графеновой прослойкой нижний слой, если бы не возможность электрического переключения, но и магнитного состояния слоев – при этом верхний и нижний слой как бы меняются местами, а электрическая поляризация меняет направление на противоположное. Возможность такого переключения и существование доменов подтверждается по наличию сегнетоэлектрического и магнитного контраста при наблюдении методами сканирующей микроскопии пьезоэлектрического отклика и магнитно-силовой микроскопии, соответственно (рис. 2).

А. Пятаков

1. Dacheng Tian et al., Nature Materials

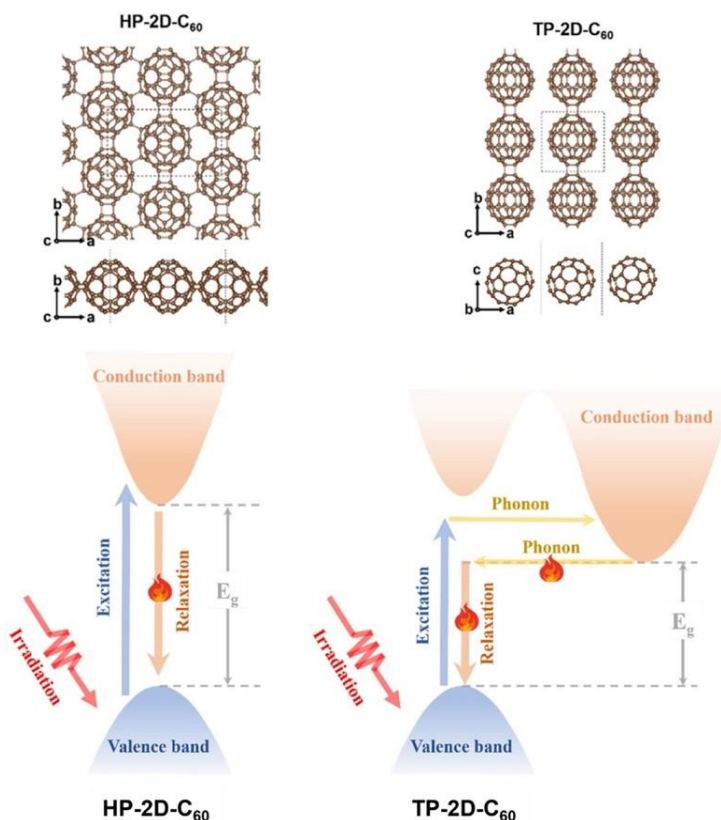
<https://doi.org/10.1038/s41563-026-02537-2>

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

2D-сети C_{60} для фототермической терапии

Фототермическая терапия (РТТ) во втором ближнем инфракрасном диапазоне (NIR-II, 1000÷1700 нм) в последние годы привлекает особое внимание как эффективный метод лечения онкологических заболеваний благодаря способности излучения глубоко проникать в биологические ткани, высокой точности воздействия на опухоли и, при этом, снижению повреждению здоровых тканей. Однако практическая эффективность РТТ часто ограничивается отсутствием агентов с высоким коэффициентом фототермического преобразования и хорошей биосовместимостью. Углеродные наноматериалы, в частности фуллерены, традиционно рассматриваются как перспективные кандидаты для РТТ. Тем не менее, использование изолированных фуллеренов в фототермической терапии существенно ограничено их слабым поглощением в ближней инфракрасной области спектра и низкой эффективностью фототермической конверсии. В попытке обойти

эти недостатки ученые из Univ. of Science and Technology of China [1] предложили оригинальный подход к модификации электронной структуры фуллеренов C_{60} путем создания ковалентно связанных двумерных сетей, что позволяет эффективно использовать их для лечения онкологических заболеваний. Используя стратегию интеркаляции магния с последующим расслоением, авторам удалось синтезировать два типа нанолитов: с гексагональной (HP-2D- C_{60}) и тетрагональной (TP-2D- C_{60}) упаковкой (см. рис.).



Сверху: Атомная структура (вид сверху и сбоку) монослоев HP-2D- C_{60} (слева) и TP-2D- C_{60} (справа). Монослой TP-2D- C_{60} образует одномерную цепочку вдоль направления **b**, при этом наименьшее расстояние между двумя ближайшими атомами углерода составляет 2.44 Å вдоль направления **a**, что превышает длину одинарной связи C–C. Снизу: Схематическое изображение механизма фототермического преобразования для HP-2D- C_{60} (слева) и TP-2D- C_{60} (справа).

Хотя исходным “строительным блоком” в обоих случаях являлись молекулы фуллерена, тип упаковки и химических связей, определяемый прекурсорами (кристаллы Mg_4C_{60} и Mg_2C_{60} для HP-2D- C_{60} и TP-2D- C_{60} , соответственно), привел к кардинальным различиям в их оптоэлектронных свойствах. Анализ методом теории функционала плотности (DFT) выявил ключевую особенность тетрагональной фазы

TP-2D- C_{60} . Оказалось, что TP-2D- C_{60} обладает более узкой непрямой запрещенной зоной (1.34 эВ, см. рис.) по сравнению с HP-2D- C_{60} (1.61 эВ, прямая зона).

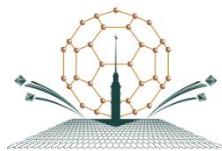
Именно непрямой характер запрещенной зоны в TP-2D- C_{60} играет ключевую роль: он способствует усилению электрон-фононных взаимодействий при релаксации носителей заряда, что приводит к значительному выделению тепла. Эксперименты с облучением лазером (1064 нм) подтвердили теоретические выкладки. TP-2D- C_{60} продемонстрировал впечатляющую эффективность фототермического преобразования на уровне 43.02%, что является одним из самых высоких показателей среди углеродных наноматериалов. В то же время HP-2D- C_{60} и исходный фуллерен C_{60} показали незначительный нагрев в тех же условиях. Биологические испытания *in vivo* на мышах с привитой моделью рака молочной железы подтвердили высокую эффективность нового материала: “фуллереновые сетки” обеспечили полную абляцию опухолей за 15 дней терапии без заметных побочных эффектов или повреждения внутренних органов. Также важным преимуществом полученных нанолитов TP-2D- C_{60} является их стабильность в физиологических средах. Исследователи полагают, что создание двумерных полимеризованных форм фуллерена открывает новую главу в наномедицине, превращая классическую молекулу C_{60} в мощный инструмент для высокоточной инфракрасной терапии глубоко залегающих опухолей, преодолевая ограничения, свойственные отдельным молекулам. Сочетание высокой эффективности преобразования света в тепло, возможности синтеза структур с заданной геометрией и хорошей биосовместимости открывает широкие возможности для внедрения 2D-сетей фуллеренов C_{60} в разработку клинических методов фототермической терапии нового поколения.

М. Маслов

I. R.Lv et al., Chem. Eng. J. 528, 172565 (2026).

КОНФЕРЕНЦИИ

Международная конференция “Нанюглерод и Алмаз” (НиА’2026), 29 июня – 3 июля 2026, г. Санкт-Петербург, Россия



Конференция НиА’2026 продолжает традиции серии международных конференций ACNS’2013 - ACNS’2021 и НиА’2024, проходивших в Санкт-Петербурге.

Программа конференции включает приглашенные и устные доклады, а также сессии стендовых докладов по новым и наиболее интересным результатам исследований и разработок, связанных со всеми видами нанюглеродных структур и алмазов.

Тематика конференции:

- Алмазы, в том числе НРНТ, CVD, алмазы динамического синтеза;
- Углеродные нанотрубки;
- Графен и его производные;
- Углеродные наноструктуры и фуллерены;
- Применения углеродных наноструктур, алмазов и композитных материалов на их основе, в исследованиях и разработках в промышленности, биологии и медицине.

В рамках конференции пройдет однодневная Школа молодых ученых “Горизонты нанюглерода”, включающая лекции ведущих специалистов по методам исследования алмазов и углеродных наноструктур.

Срок подачи тезисов докладов продлен до **05 апреля 2026 г.**

Сайт конференции: <https://ncd2026.ioffe.ru/>

Электронная почта: ncd2026@mail.ioffe.ru

Moscow International School for Young Scientists on Functional Quantum Materials, August 11-15 2026, MSU, Moscow



Московская международная школа для молодых ученых объединяет международное сообщество, занимающееся электронными, магнитными и резонансными свойствами в области функциональных квантовых материалов. Программа способствует активному диалогу и обмену знаниями, благодаря уникальному формату мероприятия: пленарные доклады о последних достижениях сочетаются с короткими сообщениями молодых ученых. Это гибридный симпозиум, созданный для доступа к образованию молодого поколения ученых. Предлагается как очное участие в Москве, так и удаленный доступ.

Основные темы:

Все аспекты квантовых материалов, неколлинеарные спиновые структуры, нетривиальная топология спиновых систем, магнетизм, сверхпроводимость, мультиферроэлектричество и волны зарядовой плотности.

Регистрация по ссылке: MISYS

<https://lomonosov-msu.ru/rus/event/10466/>

Место проведения

Физический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова

Контакты

Электронная почта: misysorg@yandex.com

**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, М. Маслов, А. Пятаков, З. Пятакова

Выпускающий редактор: И. Фурлетова