

**Перст** Информационный бюллетень  
перспективные технологии  
наноструктуры сверхпроводники фуллерены

Том 30, выпуск 11

ноябрь 2023 г.



*Photograph of the male Morpho rhetenor,  
Adv. Optical Mater. 2301086*

Черноголовка

В этом выпуске:

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

### *Оптические рассеиватели по мотивам бабочки Morpho*

Изучение иерархической структуры крыльев голубых бабочек *Morpho* уже помогло исследователям создать яркие биомиметические структурные краски, сверкающие полимерные пленки [1] и даже наноструктурные поверхности для пассивного охлаждения цветных объектов [2]. И вот теперь, вдохновившись этой замечательной бабочкой, японские учёные из Osaka Univ. разработали оптические рассеиватели с уникальными свойствами [3]. Новые рассеиватели, или диффузоры, имеют высокое пропускание (~90%), широкоугольное рассеяние, низкую дисперсию и, что важно, обладают способностью к самоочистке.

Оптические рассеиватели, которые обеспечивают “мягкое” освещение, можно разделить на два основных типа – объемные и с рельефом поверхности. Чаще используют объемные, у которых рассеивающие частицы распределены в основе. Такие рассеиватели имеют простую конфигурацию, их плоскую поверхность легко очистить, однако оптические свойства не высоки. У рассеивателей с рельефом поверхности, к которым относятся и голографические, пропускная способность и другие характеристики лучше, но они подвержены загрязнению. Идут поиски новых диффузоров со специальной волокнистой или кристаллической структурой, однако объединить нужные оптические характеристики и способность к самоочистке в одном устройстве пока не удалось.

Бабочка *Morpho*, уникальная голубая окраска которой обусловлена дифракцией света на наноструктурах крыльев, подсказала японским ученым идею создать подобные рельефные наноструктурные поверхности, на которых рассеяние света происходит на основе дифракции [3]. На рис. 1 показаны SEM изображение чешуек крыла бабочки, принципиальная схема диффузора типа *Morpho* и схематическое изображение упрощенного устройства, предложенного авторами.

Принципиальная схема диффузора, показанная на рис. 1с, сложна для реализации. Авторы упростили ее до варианта рис. 1d, что оказалось достаточным для достижения однородной диффузии света при низкой дисперсии. Для наноструктурных поверхностей выбрали гидрофобный, оптически прозрачный силиконовый полимер полидиметилсилоксан (показатель преломления  $n=1,41$ ). Рельефную поверхность создали на двух поверхностях (для малых и больших длин волн), используя импринт-литографию.

И далее ...

### СНОВА К ОСНОВАМ

- 4 О том, как швейцарские ученые проблему русских дорог умом постигали

### ГРАФЕН

- 5 Подложка + деформация = щель в графене

### НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 6 Фильтры из графина

### ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 7 Водородные сепараторы из фуллереновых мембран

### ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

- 8 Осцилляции гидравлического прыжка

### КОНФЕРЕНЦИИ

- 10 Общее собрание членов РАН  
12 - 13 декабря 2023 г.

Исследователи разработали анизотропный и изотропный диффузоры (рис. 2). Структурные параметры следующие:  $W=240$  нм для верхней поверхности и 450 нм для второй поверхности,

длина  $L$  переменная ( $1500\pm 500$  нм). Глубина верхней и нижней рельефных поверхностей 550 и 850 нм.

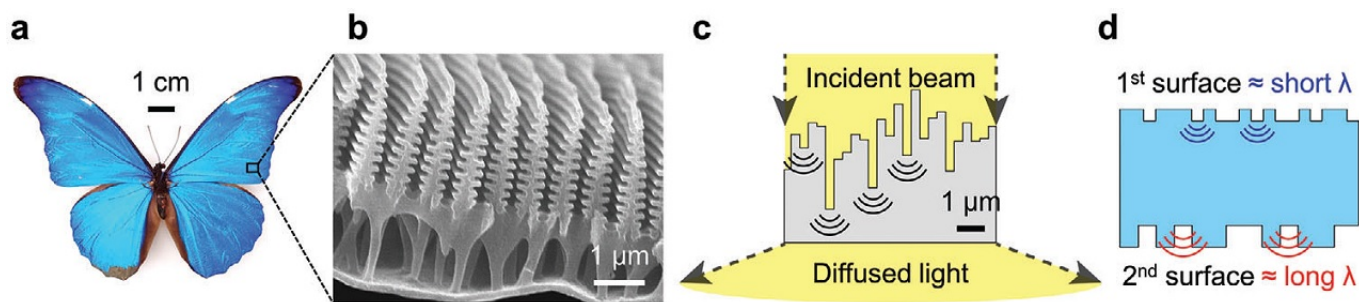


Рис. 1. **a** - Фотография бабочки *Morpho*; **b** - SEM изображение чешуек крыла; **c** - принципиальная схема диффузора типа *Morpho*. **d** - схематическое изображение упрощенного устройства.

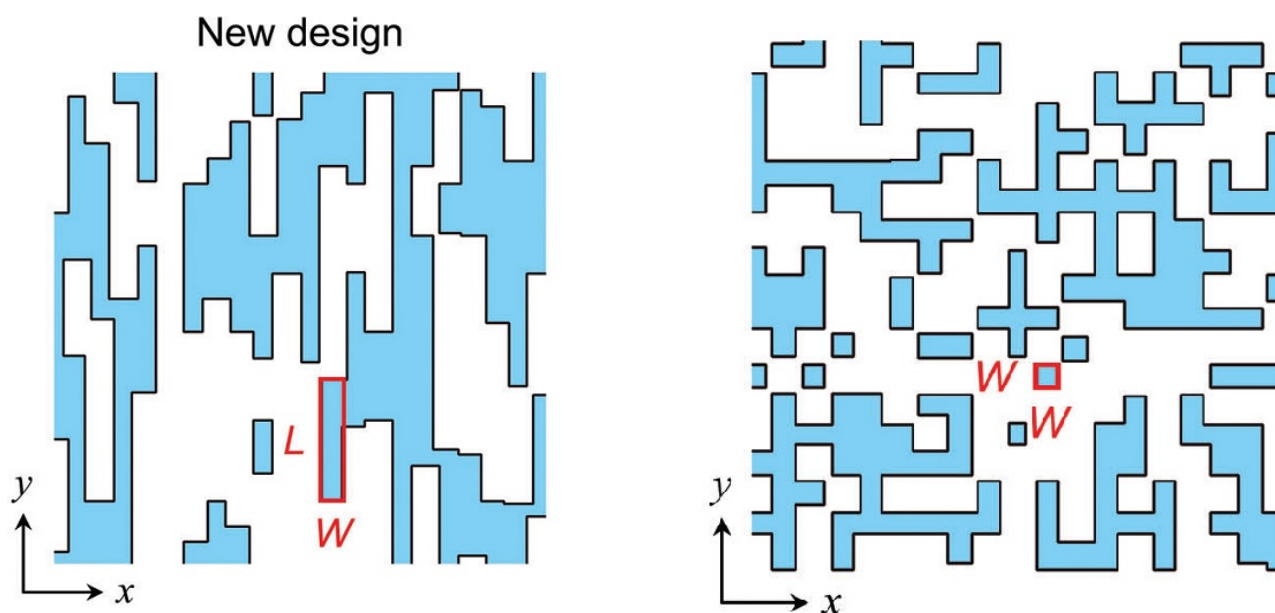


Рис. 2. Схема рельефных поверхностей для анизотропного (слева) и изотропного (справа) диффузоров.

Оба диффузора продемонстрировали отличные оптические характеристики: высокое пропускание  $\sim 90\%$ , широкоугольное рассеяние в  $x$ -направлении ( $\text{FWHM} \sim 80^\circ$ ), низкую дисперсию, возможность контролировать анизотропию. Более того, правильная комбинация поверхностных наноструктур и материала обеспечила эффект лотоса, т.е. лёгкую очистку диффузора. Достаточно капнуть воды из пипетки, чтобы удалить загрязнение (в данном случае пурпурный песок) (рис. 3).

Для защиты рельефной поверхности (например, при использовании рассеивателя для оптики или вне помещений) можно нанести дополнительный слой. Благодаря гибкости и адгезионным свойствам полидиметилсилоксана клей не требуется.

На рис. 4 показаны схема устройства с защитными слоями из стекла, а также спектр пропускания и угловой спектр анизотропного диффузора.

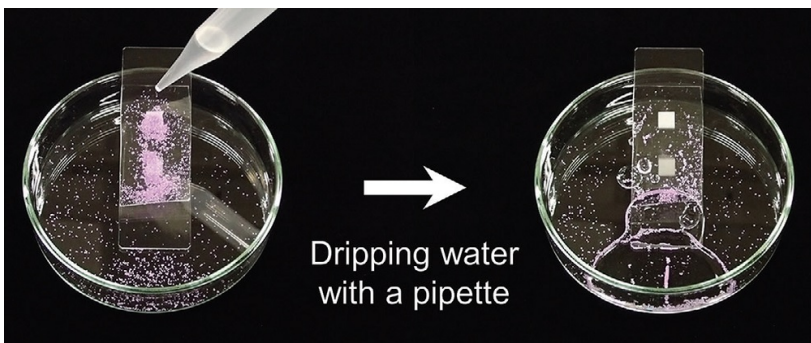


Рис. 3. Фотография диффузоров до и после теста на самоочистку.

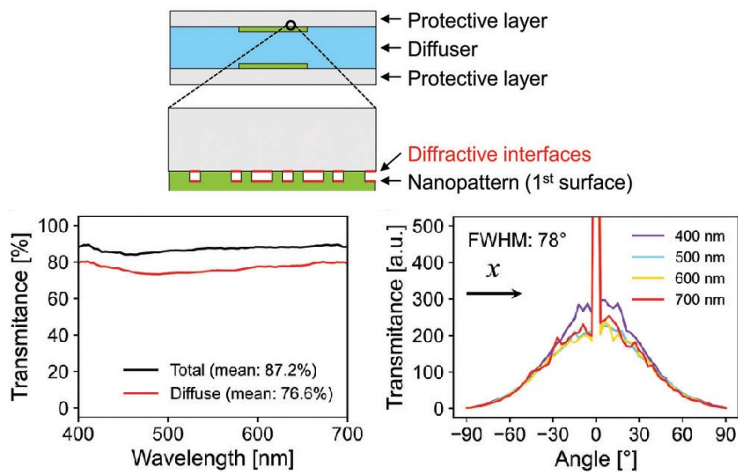


Рис. 4. Схема рассеивателя с защитными слоями из стекла. Спектр пропускания и угловой спектр в  $x$ -направлении анизотропного диффузора. Диффузное пропускание (рассеяние) 76,6% = общему пропусканию 87,2% за вычетом пропускания при угле  $0^\circ$ .

Видно, что защитные покрытия незначительно снижают оптические свойства и при этом расширяют диапазон использования. Новые диффузоры могут применяться в светодиодных светильниках, дисплеях, в оптоэлектронике, медицине и др.

О. Алексеева

1. [ПерсТ 30, вып. 6, с.1 \(2023\).](#)
2. [ПерсТ 30, вып. 9, с.1 \(2023\).](#)
3. K.Yamashita et al., *Adv. Optical Mater.* 2301086 (2023).

## СНОВА К ОСНОВАМ

### О том, как швейцарские ученые проблему русских дорог умом постигли

Почему дороги после зимы приходят в такое ужасное состояние? Каждый автомобилист может сказать по этому поводу много разного, но в том, что касается физики явления, здесь царит полное единодушие – дескать, это вода при замерзании расширяется, взламывая дорожное покрытие.

Однако этот механизм, знакомый каждому дачнику по лопнувшим за зиму бочкам, скорее объясняет явления в емкостях, в которых лед создает пробку. Он специфичен именно для воды, другие жидкости, например бензол, сжимающиеся при замерзании, напротив, снижают давление на стенки. Так вот, если повторить опыт на грунте с бензолом, то воздействие на дорожное покрытие будет точно таким же – дело не в особых свойствах воды, это всеобщее заблуждение!

Истинный виновник – криогенное всасывание – явление, знакомое разве что гляциологам или

специалистам по геокриологии: на фронте промерзания образуется пониженное давление, которое приводит к возникновению потока жидкости направленного в сторону кромки растущего кристалла.



Рис. 1. Ритвины в дорожном покрытии.

Чтобы лучше разобраться в причинах разрушений, вызванных замерзанием, ученые из ETH Zürich (Швейцария) и Yale Univ. (США) [1] решили создать физическую модель явления из прозрачных материалов – стекла и силикона, в котором были замешаны флуоресцентные частицы – по ним с помощью конфокального микроскопа можно было отслеживать деформацию силикона, вызванную ростом ледяной корки.

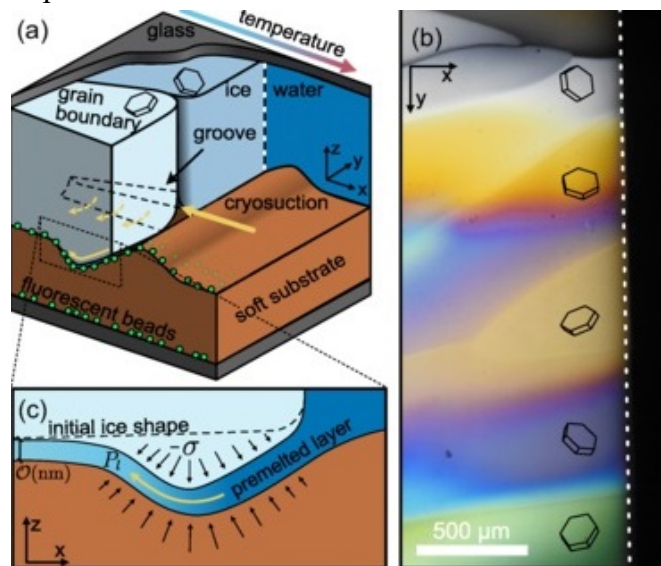


Рис. 2. **a** – Физическая модель явления: лед растет между стеклом (glass) и гибкой подложкой из силикона (soft substrate), процесс криогенного всасывания показан желтой стрелкой с надписью cryosuction, fluorescent beads – флуоресцентные частицы, groove – одна из пор, по которым поступает вода к кромке льда; **b** – кристаллиты льда в поляризационном микроскопе; **c** – изображение потока воды в переохлажденном слое, граничащим со льдом (premelted layer).

В качестве практической рекомендации, следующей из данной работы, важно отметить повышенный риск образования рытвин после внезапного похолодания, поскольку при этом повышена вероятность образования поликристаллического льда. Также стоит исследовать влияние реагентов и других веществ, используемых на дорогах в формировании поликристаллов льда.

*А. Пятаков*

*1. D.Gerber et al., Phys. Rev. Lett. 131, 208201(2023).*

## ГРАФЕН

### *Подложка + деформация = щель в графене*

Графен, благодаря своим уникальным качествам, в частности, таким как высокая подвижность носителей заряда, непревзойденная механическая прочность и способность эффективно отводить тепло всегда находится в фокусе внимания исследователей. С точки зрения зонной теории, графен представляет собой бесщелевой полупроводник, другими словами, этот материал не обладает диэлектрической щелью, что является серьезным препятствием для его использования в электронных приборах и устройствах, например, транзисторах. Из-за отсутствия щели неизбежно будут возникать токи утечки даже при околонулевой температуре. Таким образом, актуальной для практического применения графена задачей является необходимость создания или открытия достаточного энергетического зазора.

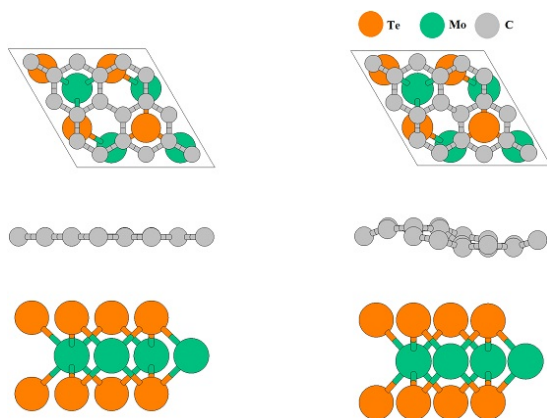


Рис. 1. Атомная структура системы графен/ $\text{Te}_2\text{Mo}$ : недеформированный материал (слева) и структура, сжатая на 8% (справа). Вверху рисунка изображен вид на ячейку моделирования сверху, внизу – изображен вид сбоку.

Авторы работы [1] с помощью компьютерного моделирования изучили влияние механического растяжения и сжатия на электронные и оптические характеристики графена, размещен-

ного на диэлектрической подложке из дителлурида молибдена (см. рис. 1). Все расчеты они выполняли в программе Quantum Espresso в рамках теории функционала плотности с целым набором функционалов PW, PBE и HSE, соответствующих различным уровням теории. Вклад слабого ван-дер-ваальсового взаимодействия учитывали с помощью поправок Гримме DFT-D3. Авторам удалось выяснить, что в отличие от растяжения равномерное сжатие открывает полупроводниковую щель за счет деформации графенового листа. Кроме того, вполне возможно контролируемо регулировать ее величину. Так, максимальная ширина запрещенной зоны в 0.8 эВ достигается при равномерном сжатии композита графен/ $\text{Te}_2\text{Mo}$  на 8% (рис. 2).

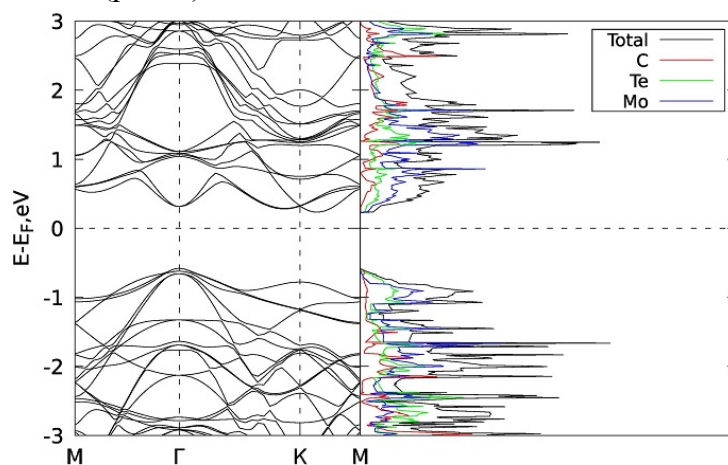


Рис. 2. Электронная зонная структура (слева) и плотность электронных состояний (справа) графена, осажденного на подложку из дителлурида молибдена, при восьмипроцентном сжатии.

Дополнительный анализ с использованием гибридного функционала HSE предсказывает величину уже 1.08 эВ, что сравнимо с кристаллическим кремнием. Энергия связывания листа графена с подложкой при этом существенно не изменяется. Полученные авторами рамановские и ИК-спектры позволят идентифицировать степень деформации графена на подложке из дителлурида молибдена в эксперименте. При этом соответствующие моды в основном характеризуют колебания атомов углерода в плоскости графена или перпендикулярно подложке. Сама же подложка существенного вклада в эти колебательные моды не вносит. Рассчитанные оптические спектры графена на  $\text{Te}_2\text{Mo}$ -подложке при восьмипроцентном сжатии демонстрируют максимум поглощения на длине волны 400 нм, что соответствует длинноволновой УФ-области. Оценка ширины запрещенной зоны по краю поглощения дает величину около

0.9 эВ, что коррелирует с величиной полупроводниковой щели, полученной на уровне теории РВЕ. Кроме того, знание оптического спектра графена на подложке  $\text{Te}_2\text{Mo}$  также не будет лишним для контроля необходимой степени сжатия образца в эксперименте. В целом, предложенный в работе метод открытия полупроводниковой щели в графене на  $\text{Te}_2\text{Mo}$  при помощи равномерного сжатия может оказаться полезным для его использования в реальных устройствах нанoeлектроники, тем более, что механическое напряжение можно прикладывать и снимать обратимо, управляя при этом шириной щели. Однако, к сожалению, в работе авторы не обсуждают влияние механических напряжений на другие его характеристики, такие как подвижность, теплопроводность и др. Будем надеяться, что дальнейшие подробные исследования дадут ответы и на эти вопросы.

М. Маслов

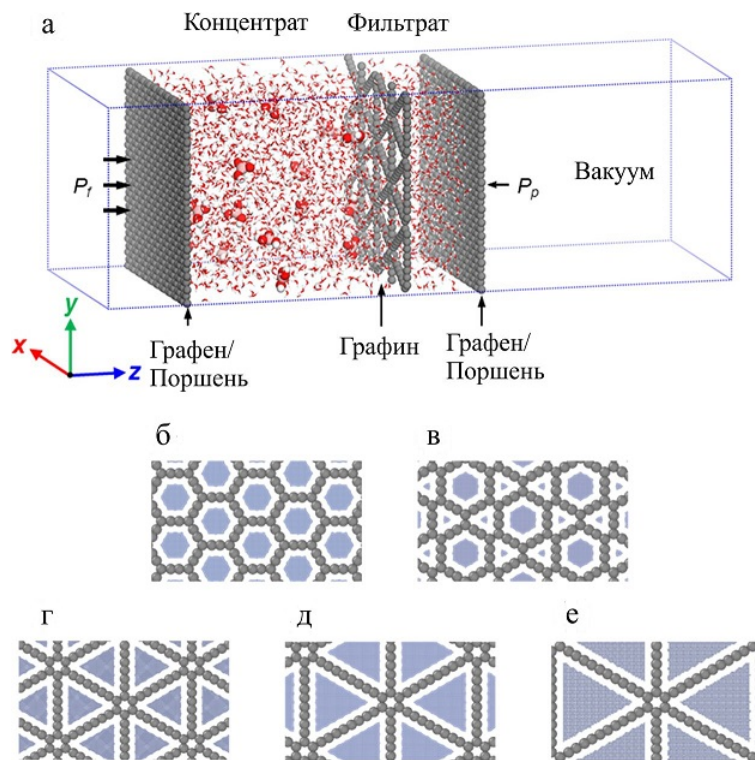
*1. P.A.Kulyamin et al., Diamond & Related Materials 140, 110547 (2023).*

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

### Фильтры из графина

Отсутствие доступа к чистой воде является в современном мире серьезной проблемой. Хорошим решением может послужить повсеместное внедрение технологии обратного осмоса, которая широко используется для производства больших объемов питьевой воды. Обратный осмос – это процесс, который происходит при подаче раствора под давлением на полупроницаемую мембрану. При этом она пропускает часть растворителя, а оставшаяся часть вместе с примесями остается в первом резервуаре. Такой метод может эффективно использоваться, например, для опреснения морской воды. Хотя основными компонентами морской воды являются ионы солей, там присутствует и чрезвычайно вредный для живых организмов бор, преимущественно в форме борной кислоты. Проблема ее удаления заключается в малом размере частиц, сопоставимом с молекулами воды, поэтому ключевым вопросом данной технологии, разумеется, является грамотный выбор мембранного материала. В работе [1], с помощью методов молекулярного моделирования, авторы продемонстрировали, что эффективной мембраной обратного осмоса для удаления бора может послужить графин и его производные. Напомним, что графины – это целый класс квазидвумерных графеноподобных алло-

тропов, в которых бензольные кольца соединены друг с другом ацетиленовыми группами. В работе [1] исследователи из Тайваня и Китая рассмотрели  $\alpha$ - и  $\beta$ -графины, содержащие гексагональные поры, и три типа  $\gamma$ -графинов с треугольными порами разного размера (см. рис.).



Схематическая иллюстрация модели (система представляет собой сэндвич-подобную конфигурацию с приложенным трансмембранным давлением ( $\Delta P = P_f - P_p$ )) (а); атомная структура и форма пор  $\alpha$ -графина (б),  $\beta$ -графина (в),  $\gamma$ -графина-3 (г),  $\gamma$ -графина-4 (д) и  $\gamma$ -графина-5 (е). Эффективное пространство поры выделено голубым цветом. Атомы углерода, бора, кислорода и водорода отмечены серым, розовым, красным и белым цветами, соответственно.

Процесс обратного осмоса авторы реализовали с помощью классической молекулярной динамики (МД) в программном пакете LAMMPS. Сама модель представляет собой сэндвичевую структуру (см. рис.), построенную из двух графеновых поршней и емкости, разделенной графеновой мембраной на два резервуара. Первый содержит борный раствор (ретентат), а второй – чистую воду (пермеат). Но перед этим авторы провели структурную оптимизацию графинов в рамках теории функционала плотности с использованием функционала РВЕ в программе VASP: оптимизации подверглись как параметры выбранных сверхъячеек, так и положения атомов в них. Молекулярно-динамические расчеты авторы проводили с использованием ка-

нонического NVT-ансамбля при комнатной температуре (300 K) с шагом по времени 1 фс. Контроль температуры традиционно осуществляли с помощью термостата Нозе-Гувера. Сначала авторы проводили полную релаксацию системы с целью минимизации энергии, затем к графеновым поршням прикладывали гидростатическое давление в 1 атм и выполняли равновесное молекулярно-динамическое моделирование в течение 20 нс для того, чтобы обеспечить адсорбционное насыщение борной кислоты на поверхности мембраны. На заключительном этапе для анализа прохождения раствора через мембрану они запускали уже неравновесное МД-моделирование. При этом выбранное трансмембранное давление составило 60 МПа, что существенно превышает давление, применяемое в коммерческих установках обратного осмоса. В результате хотя все рассмотренные в работе графеновые мембраны демонстрируют высокую водопроницаемость, их способность к фильтрации борной кислоты сильно различается. Авторы выяснили, что для ее эффективного удаления интерес могут представлять  $\alpha$ - и  $\beta$ -графины с гексагональными порами, а треугольные поры в  $\gamma$ -графине, несмотря на то, что имеют похожий ограничивающий диаметр, обладают худшей способностью к очистке. Оказывается, небольшое дополнительное пространство возле вершин треугольных пор позволяет плоским молекулам борной кислоты, вращаясь, принимать благоприятную для проникновения конфигурацию, тем самым резко ухудшая фильтрующую способность мембраны. Гексагональные поры подтвердили свою эффективность и в сравнении с предложенными авторами порами сложной импеллерной формы, поскольку полное удаление бора в последнем случае сопровождается существенно более медленным проникновением воды. Таким образом, “геометрическое блокирование” борной кислоты является непростой задачей, и в целом, по мнению авторов, оценка эффективности пор на основе чисто геометрического фактора не является информативной и достоверной. В заключении работы, из анализа полученных данных они предложили новый дескриптор для понимания способности мембраны отсеивать бор. Их подход основан на анализе конфигурационного пространства молекулы борной кислоты в различных положениях относительно мембраны с последующим определением профиля ее свободной энергии вдоль направления проницаемости и

количественной оценкой высоты барьера. Собственно, высоту этого барьера и предлагается использовать в качестве нового критерия для оценки селективного потенциала. Авторы рассчитывают, что результаты их работы помогут не только подобрать наиболее эффективную структуру мембран для удаления бора из воды, но и будут способствовать дальнейшему развитию дизайна мембран обратного осмоса в целом.

*М. Маслов*

*I. M.-Y. Huang et al., J. Phys. Chem. C 127, 21740 (2023).*

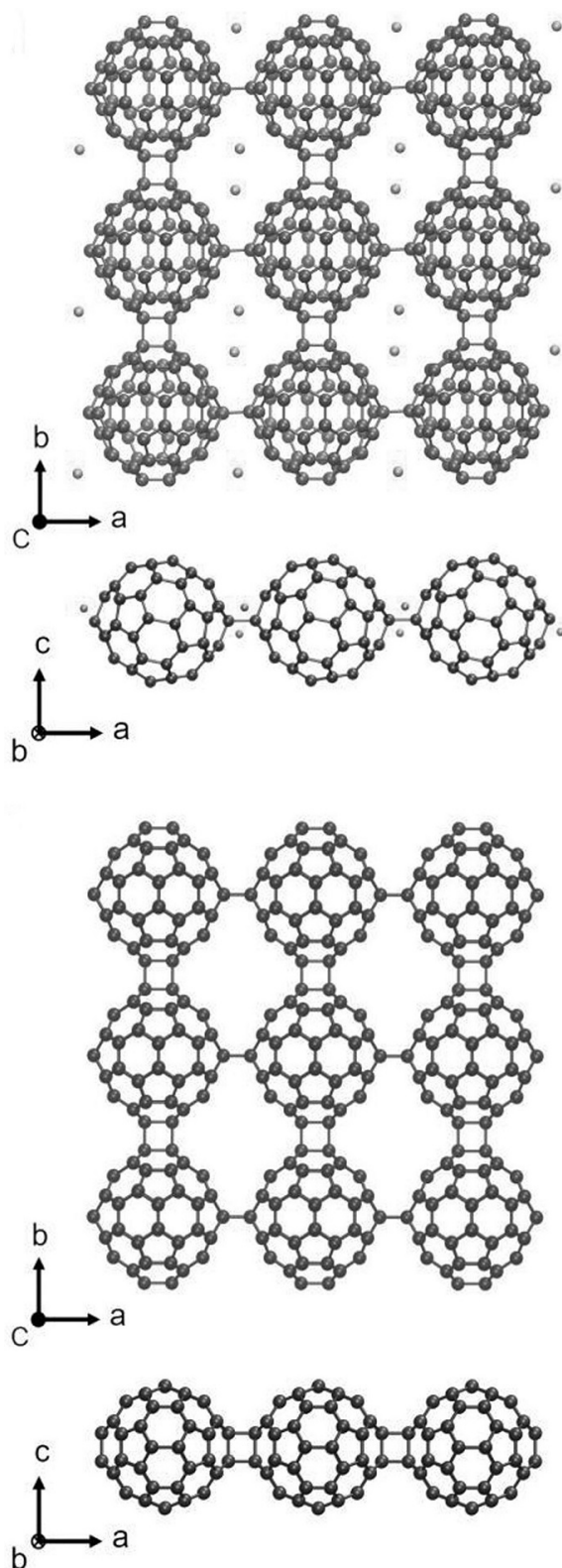
## **ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ**

### ***Водородные сепараторы из фуллереновых мембран***

Водородная энергетика является перспективной областью, в том числе, благодаря своей экологичности. В настоящее время водородное топливо можно получать расщеплением воды на атомы водорода и кислорода или посредством производства синтез-газа, состоящего из водорода и углекислого газа, путем реакции углеводородов с водой. Последний способ принято называть паровым риформингом. В результате образуются газовые смеси  $H_2/CO_2$  и  $H_2/O_2$ . Таким образом, актуальной задачей в данной области является отделение водорода от углекислого газа и кислорода.

Ученые из Vanderbilt Univ. (США) [1] предложили системы, которые могут решить данную проблему. Такими структурами являются монослойные и двухслойные фуллереновые мембраны. Для устойчивости между слоями добавлены атомы магния. В результате реакции магния с мембранами образуются структуры, имеющие следующие фазы: квази-гексагональную (qHP) с гексагональной решеткой и квази-тетрагональную (qTP) с кубической решеткой. Как видно на рис. 1, две мембраны qTP обладают воронкообразными порами, после оптимизации с помощью теории функционала плотности, диаметром в  $3.27 \text{ \AA}$  без добавления магния и  $3.12 \text{ \AA}$  в его присутствии. Таким образом, размер пор получается идеальным для пропускания молекул водорода, кинетический диаметр которых составляет  $2.89 \text{ \AA}$ , но при этом будут блокироваться газы с диаметром более  $3.12 \text{ \AA}$ , такие как  $CO_2$  ( $3.30 \text{ \AA}$ ) и  $O_2$  ( $3.46 \text{ \AA}$ ). Что же касается структур qHP, то они также обладают воронкообразными порами

с диаметром 2.05 Å. Однако такой размер слишком мал для отделения  $H_2$  от  $O_2$  и  $CO_2$ .



Атомная структура пористых однослойных фуллереновых мембран: вид сверху и сбоку фуллеренового монослоя. Сверху: мембрана qTP1-Mg ( $Mg_2C_{60}$ , ионы Mg обозначены светло-серым цветом; снизу: мембрана qTP2.

Итак, на основе методов молекулярной динамики и теории функционала плотности с помощью пакета программ Vienna Ab initio Simu-

lation Package (VASP), ультрамягких псевдопотенциалов PAW и функционала PBEsol авторы работы оптимизировали системы, а также изучили электрон-ионное взаимодействие исследуемых структур. После чего, управляя градиентом концентраций (метод GGD-MD), ученые получали установившейся поток смесей газов  $H_2/CO_2$  и  $H_2/O_2$  через мембрану при перепаде давления от 50 атм (слева от фуллереновой системы) до 10 атм (справа от фуллереновой системы). В результате исследователи не только построили зависимости стационарного распределения газа по мембране, но и проанализировали проницаемость данных систем.

Механизм разделения с помощью мембран qTP заключается в методе капиллярной конденсации, то есть сжижения пара в порах, и зависит от следующих параметров: диаметр поры, влияние воронкообразной поры при адсорбции и переносе газа, дополнительное вращение в порах. Таким образом, одновременно будет усиливаться как адсорбция атомов кислорода и молекул углекислого газа, так и сила взаимодействия в воронкообразных порах, препятствующая их движению сквозь мембраны. При повышении температуры поток водорода через исследуемые системы увеличивался, таким образом, данный процесс является актом сепарации с низким энергетическим барьером.

В конечном итоге, на основе неравномерного распределения концентраций, авторы выяснили, что количество адсорбированного на мембранах qTP водорода было значительно меньше, чем в случаях  $CO_2$  и  $O_2$ . При этом проницаемость  $H_2$  устойчива в течение 100 нс для систем qTP-Mg и qTP. Также мембраны qTP, где использовался магний, имеют больший размер пор, и, следовательно, концентрация водорода, прошедшего через данную систему, будет выше, по сравнению со структурами qTP, где магний отсутствовал.

*А. Грекова*

*I. Y.Tong et al., Nano Lett. 23, 7470 (2023).*

## ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

### Осцилляции гидравлического прыжка

Явление гидравлического прыжка можно наблюдать на любой кухне – когда струя воды ударяет по поверхности раковины, образуется область с круговой границей (рис. 1а), внутри которой тонким слоем растекается вода, а снаружи медленно идут волны. Радиус круга определяется равенством скорости потока воды и



скорости распространения волн на поверхности воды. Гидравлический прыжок можно наблюдать при приливах, текущих из моря в устья рек, его учитывают при строительстве плотин. Это явление начал изучать ещё Леонардо да Винчи, но полная количественная теория еще до конца не построена, и в этой области можно ждать сюрпризов.

Например, недавно ученые из Univ. de Lille и Inst. Univ. de France (Франция) обнаружили новый режим функционирования этого явления [1]. Оказывается, при определенных соотношениях между скоростью потока и радиусом диска гидравлический прыжок может переходить в осциллирующий режим: то появляться, то исчезать. На рис. 1б представлены экспериментальные фотографии, снятые высокоскоростной камерой в разных фазах колебания прыжка.

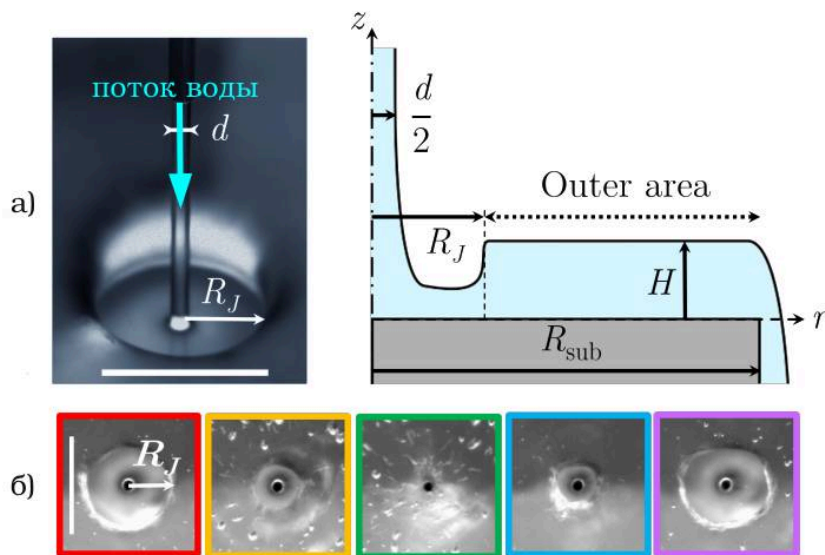


Рис. 1. а – Фотография и профиль гидравлического прыжка; б – фотографии осциллирующего режима гидравлического прыжка в разные моменты времени.

Объяснить явление осцилляции гидравлического прыжка можно следующим образом. Край диска является препятствием, от которого могут отражаться волны. При интерференции волн, бегущих к краю и от него, создается картина собственных поверхностных мод пластины, и взаимодействие этих собственных волн с волнами, наведенными гидравлическим прыжком, может приводить к своеобразным “биениям” – периодическим исчезновениям и появлениям гидравлического прыжка.

Авторы провели экспериментальное исследование областей существования и режима гидравлического прыжка на дисках разного радиуса и с разными скоростями потока. Соответствующая диаграмма приведена на рис. 2.

Авторы также исследовали зависимость периода осцилляций гидравлического прыжка от радиуса подложки, и экспериментальные данные совпали с теоретическими зависимостями периода собственных поверхностных мод пластины, что является доказательством предполагаемого механизма возникновения осцилляций.

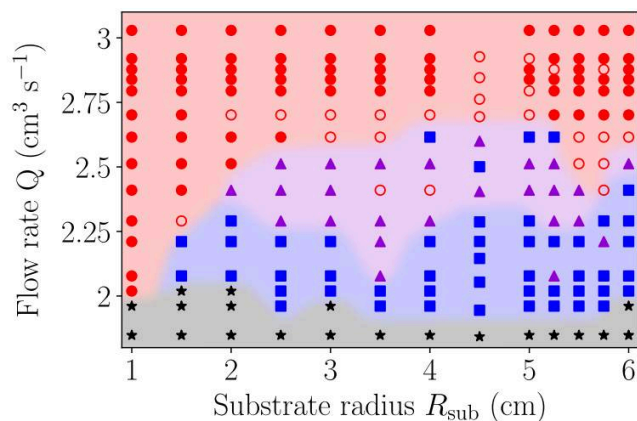


Рис. 2. Режимы гидравлического прыжка при различных радиусах подложки и скоростях потока: серая область, звездочки – прыжок отсутствует. Лиловая и розовая области – осцилляции гидравлического прыжка (квадратики – устойчивые осцилляции, треугольники – бистабильное состояние, при котором осцилляции могут как возникать, так и не возникать). Пустыми кружочками обозначены случаи, когда осцилляции быстро затухают, и прыжок переходит в стационарный режим, заполненные кружочки – осцилляции отсутствуют, стационарный режим гидравлического прыжка. Каждая точка – результат нескольких экспериментов.

Надо сказать, что воспроизвести этот эффект в домашних условиях практически невозможно – скорость потока воды в водопроводной струе довольно сильно флуктуирует, благодаря чему случайным образом меняется радиус прыжка, и получаются помехи, не имеющие отношения к рассматриваемому эффекту. Кроме того, эффект осцилляций гидравлического прыжка проявляется в довольно узком диапазоне параметров, вероятно поэтому он ранее ускользал от исследователей.

З. Пятакова

1. A.Goerlinger et al., Phys. Rev. Lett. **131**, 194001(2023).

## КОНФЕРЕНЦИИ

**Общее собрание членов РАН**

**12 – 13 декабря 2023 г.**

(г. Москва, Ленинский проспект, дом 32а, зона “Д”).

Научная сессия общего собрания членов РАН “Российская академия наук в решении проблем научно-технологического развития Российской Федерации”

**Научные доклады:**

1. *Микроэлектронные технологии в решении задач научно-технологического суверенитета страны* – академик РАН Красников Г.Я.
2. *Российские университеты как ключевой элемент подготовки кадров для обеспечения технологического суверенитета страны* – академик РАН Садовничий В.А.
3. *Доверенный искусственный интеллект* – академик РАН Аветисян А.И.
4. *Лазерные технологии в решении задач научно-технологического суверенитета страны* – академик РАН Кведер В.В.
5. *Российская глобальная навигационная спутниковая система: результаты и перспективы* – академик РАН Тестоедов Н.А.

6. *Прогноз, добыча и химические технологии переработки критически важного минерального сырья для создания высокотехнологичной продукции* – академик РАН Алдошин С.М.

7. *Достижения российской науки в обеспечении технологического суверенитета Российской Федерации в металлургии и машиностроении* – член-корреспондент РАН Макаров А.В.

8. *Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования* – академик РАН Семёнов В.А.

9. *Структурно-технологические сдвиги и модернизация экономики России (средне- и долгосрочные перспективы)* – академик РАН Порфирьев Б.Н.

10. *Трансформация мирового порядка: экономика и технологии* – академик РАН Дынкин А.А.

**13 декабря 2023 г. (среда, 10-00)**

Вручение Премии ЮНЕСКО - России им. Д.И. Менделеева за достижения в области фундаментальных наук за 2022 год  
Научные доклады лауреатов Премии ЮНЕСКО – России им. Д.И. Менделеева

**Научные доклады: (14-00):**

1. *Приоритетные технологии развития агро-промышленного комплекса Российской Федерации* – академик РАН Лобачевский Я.П.
2. *Роль Российской академии наук в технологическом развитии медицины* – академик РАН Стародубов В.И.
3. *Отечественные методы исследований в диагностике и лечении онкологических заболеваний* – академик РАН Каприн А.Д.
4. *Биобезопасность: эпидемиологические, клеточные, генетические и эпигенетические аспекты* – академик РАН Акимкин В.Г.

Сайт: <https://new.ras.ru/academy/presidium/session/obshchee-sobranie-chlenov-ran-12-13-dekabrya-2023-g/>

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

Главный редактор: И. Чугуева, e-mail: [ichugueva@yandex.ru](mailto:ichugueva@yandex.ru)

Научные редакторы К. Кугель, Ю. Метлин

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

Выпускающий редактор: И. Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 6