



## Сибирские ученые сделали эффективный вакуумный фотодиод для солнечных батарей

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН совместно с ЗАО «Экран ФЭП» создали новый тип вакуумного фотодиода, который позволяет эффективно преобразовывать свет в электричество и является перспективным для солнечной энергетики, особенно при размещении устройств в космосе. Результаты этой работы опубликованы в журнале *Scientific Reports*.

При преобразовании света в электричество существует две проблемы: как выбить много электронов и как собрать и заставить их двигаться в определенном направлении (в противном случае, если электроны мечутся по полупроводнику бесцельно, он просто нагревается). В настоящее время наиболее эффективны многокаскадные полупроводниковые преобразователи. Сибирские ученые предложили использовать вакуумный фотодиод, отличие которого заключается в том, что полупроводниковые электроды не соприкасаются, а находятся на определенном расстоянии друг от друга в вакууме – это позволяет взять анод независимо от катода, то есть сделать их структуру и состав, не ориентируясь на то, как они будут сочетаться между собой. Исследователи ИФП СО РАН предложили упростить электронам выход в вакуум за счет состава и структуры катода: они использовали арсенид галлия, покрытый одним слоем атомов цезия и кислорода. У такого электрода очень низкая работа выхода – около 1 эВ (для сравнения у большинства материалов показатель составляет 4–6 эВ), а значит, электрон можно извлечь в вакуум, затратив предельно малую энергию. Другими словами, при использовании таких структур электроны выбиваются проще (не нужно греть катод или подавать напряжение).

В ходе эксперимента ученые осветили один из электродов в диапазоне длин волн 350–900 нм (на этот диапазон приходится максимум солнечной энергии излучения), в результате в цепи возник электрический ток без приложения разности потенциалов между электродами.

Теоретически коэффициент полезного действия фотодиода сравним с квантовой эффективностью

фотокатода – 50 % и выше. В перспективе это позволит фотоэмиссионным преобразователям конкурировать с используемыми сейчас многокаскадными полупроводниковыми, особенно для применения в космосе. Квантовая эффективность – это величина, которая характеризует fotocувствительные приборы и материалы, количественная мера, показывающая разницу между тем, сколько фотонов материал поглотил, и сколько при этом испустилось электронов.



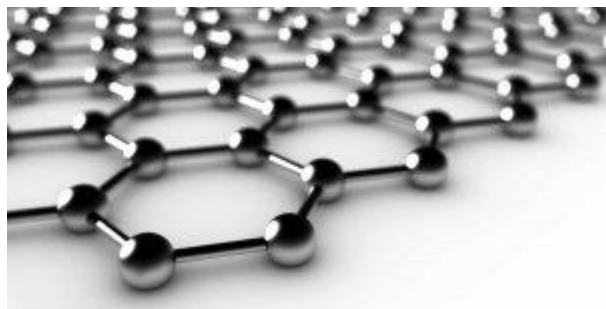
Фото предоставлено Олегом Терещенко

«Помимо прикладного значения, в таком приборе оказалось возможным изучать очень богатую физику фотоэмиссии низкоэнергетических электронов, а также процессы инжекции свободных спин-поляризованных электронов. На базе изготовленного вакуумного фотодиода можно создать детектор спин-поляризованных электронов с пространственным разрешением, что в свою очередь пригодится в электронных спектрометрах для получения информации о зависимости энергии электронов в кристалле от его импульса и спиновой поляризации», – рассказал научный сотрудник Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН доктор физико-математических наук Олег Евгеньевич Терещенко. Статья об этом опубликована в *Physical Review Applied*.

[www.sbras.info](http://www.sbras.info)



## Предсказаны сотни новых одноатомных материалов



Графен постоянно называют «материалом будущего», хотя технологии получения больших образцов в промышленных количествах до сих пор не созданы. Тем не менее графен – одноатомный слой углерода – демонстрирует потрясающие свойства: электропроводность лучше меди, прочность выше стали и т.д. Не менее интересны и другие двумерные кристаллы, полученные в последнее время, такие как борофен, силицен или дисульфид гафния.

В новой работе европейских ученых предсказываются сотни таких материалов с самыми разными полезными свойствами. Об этом Николя Моне (Nicolas Mounet) из Федеральной политехнической школы Лозанны и его коллеги пишут в статье, опубликованной журналом Nature Nanotechnology.

В самом деле, множество плоскостей графена, уложенных «стопкой», образуют всем известный и широко распространенный графит. В поисках аналогичных структур ученые проанализировали информацию, собранную в открытых базах данных, содержащих сведения о примерно 108 тыс. трехмерных кристаллических структур.

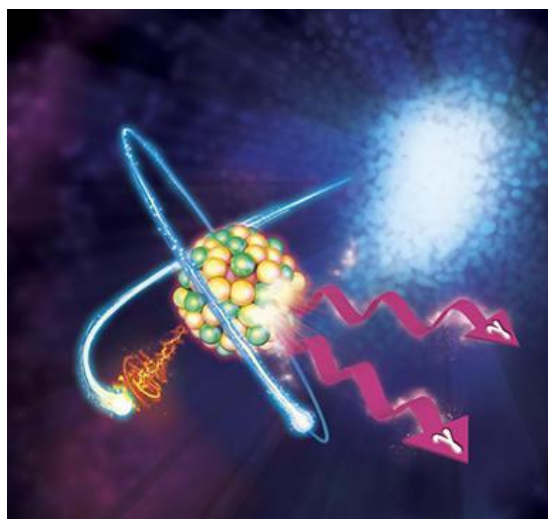
Авторов интересовали кристаллы, ковалентные связи между атомами которых в плоском слое чрезвычайно прочны, тогда как сами слои соединяют достаточно слабые силы Ван дер Ваальса – как у того же графита и его графеновых плоскостей. Специально разработанный компьютерный алгоритм позволил выделить около 5 600 подходящих кристаллических структур. Более точные расчеты межатомных связей сузили результат уже до 1 825 вариантов.

Среди них ученые обнаружили структурные аналоги различных известных одноатомных материалов, связи между атомами в которых очень схожи – в частности, 13 аналогов двумерного дисульфида молибдена (перспективный полупроводник). Для оценки были проведены расчеты свойств 258 предсказанных двумерных материалов. 166 из них оказались полупроводниками с шириной запрещенной зоны от 0 до 1,5 эВ, а 92 материала – проводниками.

*naked-science.ru*



## Изотопная батарейка заменит 100 тыс. литиевых



Многонациональный исследовательский коллектив успешно осуществил контролируемое высвобождение сохраненной изотопной энергии с помощью физического механизма, который был предложен

более 40 лет назад, но до сих пор не был подтвержден экспериментально.

Базой для этой работы послужило подразделение энергетических компонентов Лаборатории армейских исследований США (U.S. Army Research Laboratory, ARL). Команда под руководством доктора Джеймса Кэрролла (James Carroll) продемонстрировала на примере особого изотопа молибдена, что энергия хранится в его возбужденном ядре на протяжении примерно семи часов, но может быть высвобождена гораздо быстрее с помощью свободного электрона, продельвающего «дыру» в оболочке атома. Проникая внутрь, этот электрон приносит с собой небольшое количество энергии, которого как раз достаточно, чтобы инициировать высвобождение значительно большего объема энергии, хранящейся в изотопе.

Идея такого эксперимента была выдвинута Кэрроллом в 2012 г. в соавторстве с представителем Объединённого института ядерных исследований (Россия). Полномасштабная подготовка началась в ARL летом 2014 г.

Предварительные результаты в мае 2015 г. были получены Австралийским национальным университетом, а собственно демонстрацию провели в декабре в исследовательском центре ATLAS Аргоннской Национальной Лаборатории. Анализ более 10 терабайт экспериментальных данных затянулся до 2017 г. Окончательные итоги проекта опубликованы в виде письма журналом Nature.

По мнению авторов, это достижение открывает перспективное направление в разработках альтернативных источников энергии. «Уже ведутся исследования для определения возможности использования энергии изотопов с плотностью хранения в 100 тыс. раз выше того, что могут обеспечить химические процессы», – заявил Кэрролл.

<http://ko.com.ua/>



### Совершен прорыв в разработке высокотемпературных топливных элементов



Фото: EAST NEWS

ливного элемента и не обеспечивают ожидаемого выхода мощности.

Команда американских исследователей смогла решить эту проблему, объединив высокоактивный катод из двойного перовскита PBSCF с химически стабильным электролитом, получившим маркировку VZCYb4411. Новый электролит обеспечил быстрое перемещение ионов и оставался стабильным даже после работы в течение многих сотен часов. В целом установка продемонстрировала исключительную удельную мощность.

Высокая температура работы означает высокую энергоэффективность системы без увеличения издержек на расходные элементы. Открытие должно привести к созданию более экономичных топливных элементов и в конечном счете трансформировать всю энергетику. Следующим этапом работы команды станет разработка прототипа коммерческого устройства на основе технологии.

Перовскиты, используемые в этом исследовании, считаются одним из наиболее перспективных материалов. Так, они позволяют существенно увеличить эффективность солнечных панелей. Недавно американским исследователям удалось создать версию перовскитной солнечной панели, стабильно работающую в уличных условиях.

[hightech.fm](http://hightech.fm)



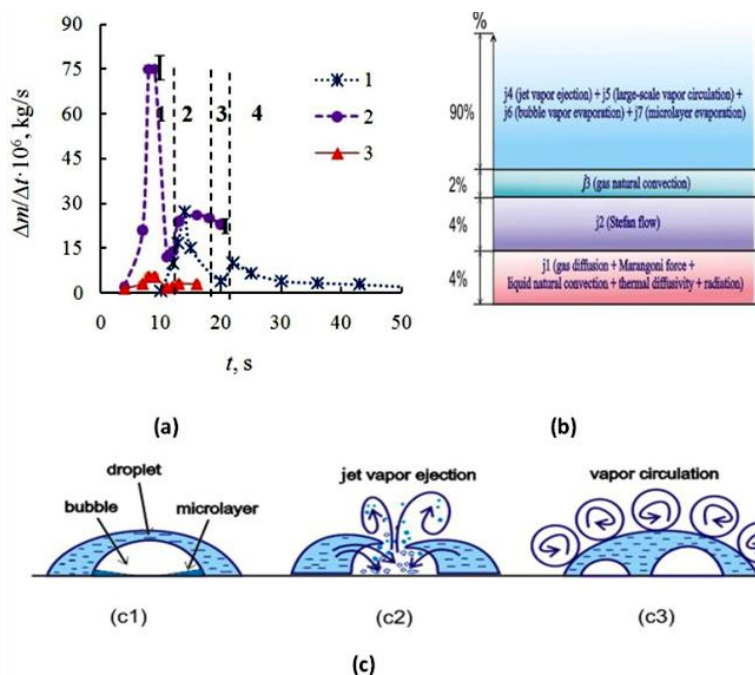
### Новая модель испарения растворов повысит эффективность технологий в энергетике

Ученый Томского политехнического университета получил новые экспериментальные данные об испарении водных растворов солей. Результаты исследования помогут повысить эффективность технологий в энергетике. Статья с исследованием опубликована в журнале Scientific Reports.

«Испарение воды регулирует теплообмен и в этом качестве используется, например, в биологии. Высококонцентрированные водные растворы соли применяются в химической промышленности и в энергетике,

в абсорбционных тепловых насосах. При этом испарение многокомпонентных растворов, в том числе водных растворов солей, изучено слабо. Новые данные, полученные нами экспериментально, помогут скорректировать модели испарения и повысить эффективность технологических циклов в различных областях энергетики», – рассказал корреспондентам российского информационного агентства ТАСС автор исследования Сергей Мисюра (лаборатория моделирования процессов тепломассопереноса ТПУ).





В процессе эксперимента ученые осаждали на рабочую поверхность капли воды и водных растворов солей – бромида лития, хлорида кальция и хлорида лития. Начальная температура каплей была равна температуре окружающего воздуха 21 °С, а испарение проводилось при нагреве стенки от 80 °С до 150 °С.

Исследователи обратили внимание на принципиальное отличие испарения капли раствора соли от капли воды при интенсивном пузырьковом кипении. Скорость испарения небольшой капли воды во времени более-менее постоянна. Совсем иное поведение у капли солевого раствора.

Процесс кипения раствора ввиду изменения концентрации состоит из нескольких временных отрезков, в каждом из которых меняется как скорость испарения, так и роль конвекции. Эксперименты показали, что для определения скорости испарения существенное значение имеет конвекция.

«Концентрация растворов постоянно изменялась, ведь вода испаряется, а соль остается. Возникающее из-за конвекции движение воздуха ускоряет испарение каплей с меняющейся концентрацией. Однако этим фактором, как и теплопереносом внутри самой капли, в теоретических моделях до сих пор пренебрегали, как несущественным. Мы же показали, что таким образом предполагаемая скорость испарения может быть ошибочно занижена почти в десять раз», – отметил ученый.

Предсказание скорости испарения каплей солевых растворов необходимо для разработки новых технологий струйной печати и покрытий, медицинской диагностики и охлаждения микроэлектроники. Правильное моделирование испарения водных растворов важно для повышения эффективности тепловых насосов.

news.tpu.ru

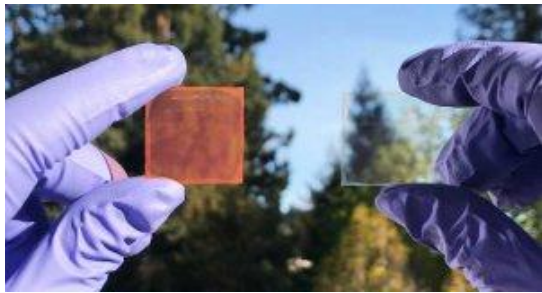


### Создан материал для «умных» окон, на свету превращающийся в солнечную панель

Группа химиков из США разработала материал, который превращается в малопрозрачный фотоэлемент при нагревании, а при контакте с водой становится прозрачным, как стекло. Из подобных материалов можно будет делать окна, генерирующие электроэнергию в солнечные дни.

В журнале Nature Materials вышла статья с описанием материала, который в зависимости от температуры существует как прозрачная стеклоподобная субстанция или как темный, слабо пропускающий свет материал со структурой перовскита, работаю-

щий как фотоэлектрический элемент. Авторы статьи полагают, что однажды из этого материала можно будет делать оконные стекла, в пасмурную погоду и в сумерки пропускающие свет, а в солнечные дни работающие, как солнечная батарея. Электроэнергия, выработанная в часы работы в режиме солнечной батареи, может быть использована для зарядки аккумуляторов бытовой электроники или для охлаждения салона автомобиля, припаркованного на солнце в жаркий день.



Переход от стеклоподобной прозрачной фазы к перовскитной происходит при повышении температуры. Пока прототип, собранный Летьеном Ду (Letian Dou) и его коллегами из Университета Пердью в США, приобретает структуру перовскита при нагревании до 105 °С; это намного больше, чем температура стекла, находящегося под прямыми солнечными лучами даже в самый жаркий день. Сейчас химики работают над снижением пороговой температуры до 70 °С – этого было бы достаточно, чтобы

прозрачное стекло, нагретое лучами солнца, само превращалось в фотоэлемент.

Процесс обратим: структура перовскита теряется при контакте с влагой. После увлажнения прозрачность материала вырастает до 81,7 %, в то время как в фазе перовскита материал приобретает коричневатый оттенок и пропускает только 35,4 % видимого света. В дальнейшем Ду и его коллеги рассчитывают найти другой способ изменения фазы, чтобы владельцам будущих «умных» окон не пришлось брызгать на них водой с целью сделать их вновь прозрачными.

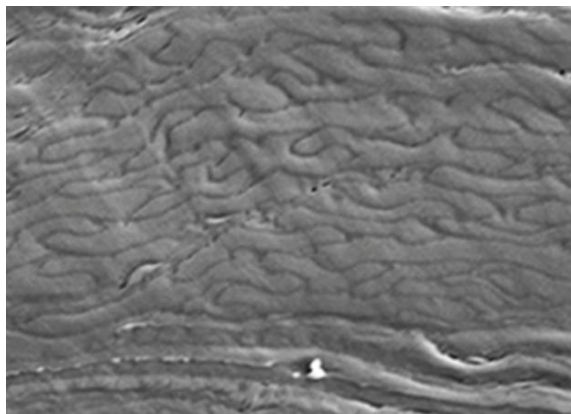
Структура кристаллов, использованных в экспериментальных фотоэлементах, называется «структурой перовскита» из-за сходства с кристаллической решеткой одноименного природного минерала, титаната кальция. В работе Ду и его коллег применялись органические комплексные соединения на основе йодида и бромиды цезия, выбранные учеными за способность к резким фазовым переходам при изменении температуры в пределах значений, при которых возможна работа фотоэлементов.

*naked-science.ru*



### Варка в щелочи и прессование сделали дерево на порядок прочнее

Как сообщается в журнале Nature, исследователи научились повышать прочность древесины с помощью варки деревянных брусков в щелочном растворе и прессования. После этой процедуры бруски становятся в пять раз тоньше и в 11,5 раз прочнее.



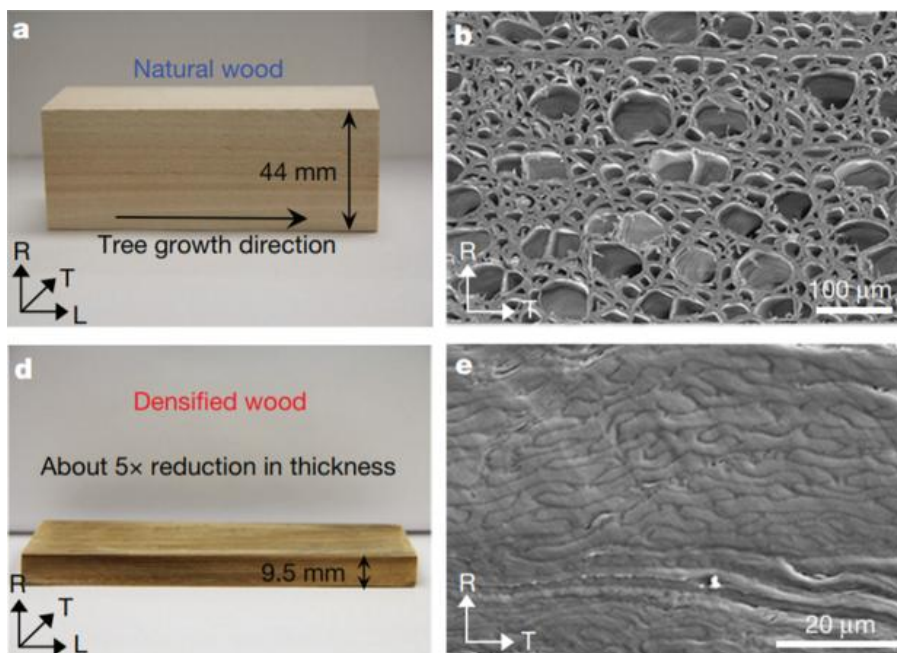
Структура древесины после обработки. Jianwei Song et al. / Nature, 2018

Далеко не все ученые-материаловеды разрабатывают новые материалы с нуля, синтезируя их искусственно. Некоторые предпочитают брать за основу уже существующие природные материалы и улучшать их характеристики различными способами. Нередко в качестве основы используется древесина – один из самых распространенных природных материалов. К примеру, в прошлом году ученые создали композитный аналог паутины, на 90 % состоящий из нановолокон целлюлозы, полученных из дерева.

Исследователи под руководством Лянбин Ху (Liangbing Hu) из Мэрилендского университета также взяли за основу древесину и разработали метод, повышающий ее прочность на порядок. Этот метод состоит из двух основных этапов. Сначала деревянные бруски помещаются в кипящий раствор гидроксида и сульфата натрия и варятся семь часов. После этого их несколько раз промывают кипящей деионизированной водой и удаляют остатки раствора. Такая обработка оставляет в древесине почти все целлюлозные волокна, но удаляет большую часть окружающих их лигнина и гемицеллюлозы. За счет этого древесина становится более пористой и менее жесткой.

После этого древесные бруски прессуются при температуре 100 °С. Тесты исследователей на дубовых и липовых брусках показали, что при этом их толщина уменьшается в пять раз, а плотность в три раза, тогда как без удаления лигнина и гемицеллюлозы плотность уменьшается гораздо меньше.

Помимо этого, ученые протестировали механические свойства обработанного дерева. Выяснилось, что после обработки прочность липы возрастает в 11,5 раз с 52 до 587 мегапаскалей. Исследователи смогли упрочнить до похожих значений (608 мегапаскалей) дубовые бруски, но их прочность была изначально в два раза выше. Такая прочность сравнима со многими марками нержавеющей стали. Удельная прочность такой древесины оказалась заметно выше, чем у многих сплавов, к примеру, в 1,7 раз выше, чем у титанового сплава Ti-6Al-4V.



Фотографии и микроструктура древесины до и после обработки. Jianwei Song et al. / Nature, 2018

Ученые проанализировали структуру на сканирующем микроскопе и выяснили, что в отличие от спрессованной древесины, из которой не удалялись лигнин и гемицеллюлозы, в обработанной древесине целлюлозные структуры при прессовании становятся гораздо ближе и переплетаются.

В 2016 г. эта группа исследователей создала похожим образом другой материал на основе древесины. Вместо того чтобы прессовать дерево после варки, они залили ее эпоксидной смолой, которая удалила из полостей внутри древесины воздух и сделала ее прозрачной.

*nplus1.ru*



### Создан первый работоспособный прототип перезаряжаемой «протонной батареи»

Исследователи из университета RMIT, Мельбурн, Австралия, разработали и изготовили первый работоспособный образец перезаряжаемой «протонной батареи», которая в перспективе сможет выступить в качестве источника энергии для электрических автомобилей, домашних хозяйств и электронных устройств различного класса. У нового устройства, при условии его дальнейшей доработки, может оказаться более высокий показатель плотности хранения энергии, нежели у традиционных литий-ионных аккумуляторов, а некоторые другие характеристики протонной батареи сделают ее идеальным вариантом для создания устройств промежуточного хранения энергии, призванных снизить пиковую нагрузку на энергетические сети.

В прототипе протонной батареи используется электрод из углеродистого материала, который выступает в качестве своего рода хранилища водорода. Электрод представляет собой пористую структуру из активированного углерода, полученную путем соответствующей термической и химической обработки заготовки из фенольной смолы. В настоящее время

этот электрод может поглотить и хранить водород в количестве, равном 1 % от веса самого электрода.



Хранимый водород сжигается на поверхности самовосстанавливающегося топливного элемента, который может выступать в качестве катализатора, расщепляющего воду на кислород и водород. Когда производится процесс зарядки этой батареи, протоны (ядра водорода), получающиеся в результате расще-



пления молекул воды, насыщают объем углеродистого электрода и хранятся там до тех пор, пока не начнется процесс отбора энергии из батареи.

При начале отбора энергии происходит обратный процесс: попадая на поверхность топливного элемента, протоны реагируют с кислородом из атмосферы, образуя молекулы воды. В данном процессе атомы углерода не принимают никакого участия, и батарея в процессе работы не выбрасывает в окружающую среду ничего вредного.

Созданный опытный образец протонной батареи имеет площадь в  $5,5 \text{ см}^2$ , а ее электрическая емкость

пока соответствует емкости литий-ионной аккумуляторной батареи такой же площади средней толщины. При этом максимальное напряжение, вырабатываемое протонной батареей, составляет 1,2 В.

Дальнейшая оптимизация структуры новой батареи, по мнению ее разработчиков, позволит увеличить ее емкость, а с точки зрения эффективности преобразования и хранения энергии протонная батарея и так уже превосходит все другие системы накопления и хранения энергии, в которых используется водород.

*dailytechninfo.org*



### Графену придали свойства «магнитного золота»

Ученые модифицировали графен и наделили его свойствами кобальта и золота – магнетизмом и спин-орбитальным взаимодействием. Разработка поможет усовершенствовать квантовые компьютеры. Результаты исследования международного коллектива с участием российских ученых из СПбГУ и ТГУ опубликованы в журнале Nano Letters.

Графен – самый легкий и прочный из всех существующих сегодня материалов, который к тому же обладает высокой электропроводностью. При взаимодействии с кобальтом и золотом графен не только сохраняет свои уникальные характеристики, но и частично перенимает свойства этих металлов – магнетизм и спин-орбитальное взаимодействие. Ученые синтезировали систему, состоящую из строго упорядоченного графена на магнитной подложке кобальта с ультратонким слоем атомов золота между ними, а затем изучили новые свойства такой системы.

«Классически спин электрона можно представить как «магнит», возникающий вследствие вращения электрона вокруг своей оси, – объяснил руководитель исследования, сотрудник СПбГУ Александр Шикин. – При этом электрон вращается еще и вокруг ядра, что создает круговой ток, а значит, и магнитное поле. Таким образом, между этим «магнитом» и магнитным полем происходит взаимодействие, которое называется спин-орбитальным. Собственное спин-орбитальное взаимодействие графена пренебрежимо мало, а у золота оно крайне велико, поэтому взаимодействие золота с графеном приводит к появлению

спин-орбитального взаимодействия у последнего, равно как и взаимодействие кобальта с графеном намагничивает его».



Одной из областей применения полученного магнитно-спин-орбитального графена может стать квантовый компьютер. Сейчас элементы информации (кубиты) для квантовых вычислений делают в основном на холодных атомах или сверхпроводящих переходах. Основной проблемой прототипов квантовых компьютеров остается скорость: кубиты не успевают сделать нужное количество операций и сохранить результат вычислений из-за взаимодействия с внешней средой. Одним из решений этой проблемы может стать изготовление кубитов на новых «квантовых» материалах – например, на основе магнитно-спин-орбитального графена.

*indicator.ru*



### Компания C7 хочет взять в концессию МКС и запускать буксиры с ядерным двигателем

Администрация Трампа предлагает приватизировать американский сегмент МКС и передать его для

использования частным фирмам по окончании срока эксплуатации в 2025 г. В связи с этим встает вопрос

о том, что делать с российским сегментом. Здесь тоже возможен вариант с коммерческим использованием. Например, генеральный директор компании «С7 космические транспортные системы» Сергей Сопов рассказал в интервью газете «Известия» о планах создания орбитального космодрома.

«Роскосмос», NASA и другие космические агентства планируют создать на окололунной орбите посещаемую станцию. Однако средств на эксплуатацию сразу двух станций – МКС и у Луны – не хватит ни у России, ни у США. В этой связи все государства-участники проекта МКС заинтересованы в привлечении частных компаний к работе на низкой околоземной орбите. Мы готовы сотрудничать с «Роскосмосом» в этом вопросе. Для нас российский сегмент МКС представляет интерес как научная и промышленная площадка, где можно наладить уникальные производства, сборку космических аппаратов, организовать «хаб» для дальнейшей экспансии – освоения Луны и Марса».



По мнению бизнесмена, межпланетные корабли и зонды выгоднее и безопаснее собирать из мелких модулей прямо на орбите, а экипажи сначала доставлять на станцию и оттуда перевозить на корабль, который летит, допустим, к Луне. Другими словами, орбитальный космодром будет работать как перевалочная база для полётов в дальний космос.

Сергей Сопов считает, что его компания может осуществлять доставку грузов к Луне и Марсу с помощью буксира с ядерной энергодвигательной установкой (ЯЭРДУ) мегаваттного класса. Для того чтобы обойти международный запрет на использование ядерных систем на низкой околоземной орбите, Сопов предлагает в перспективе увеличить высоту полета МКС до 600 км.

Теперь компания «С7 космические транспортные системы» намерена обратиться к «Роскосмосу» с предложением сдать российскую часть станции в концессию.

В 2016 г. материнское предприятие ЗАО «Группа компаний “С7”» Владислава Филёва купило у Sea Launch плавучий космодром «Морской старт» и товарный знак Sea Launch. Пока сделка не закрыта, компания предлагает на рынке услуги по выводу спутников на ракетах-носителях «Зенит» с Байконура («Наземный старт»). ООО «С7 космические транспортные системы» является оператором проекта.

Первые две ступени ракеты-носителя для компании изготавливает предприятие «Южмаш» (город Днепр). Сейчас сделан заказ на 12 «Зенитов», один находится в производстве. Окончательная сборка осуществляется в США.

Как полагает Сергей Сопов, использование дешёвых двухступенчатых ракет «Зенит» выгоднее, чем трёхступенчатых дорогих носителей вроде «Союз-5» (по сути, потолстевшая ракета «Зенит»), а также выгоднее ракет с возвращаемой ступенью вроде Falcon 9 от SpaceX. «В теории известно, что эффективность многоразовой системы начинается с шести стартов в год. Если запусков меньше, то целесообразнее использовать дешёвую одноразовую ракету», – сказал Сопов.



Рисунок NASA

Гендиректор компании также сказал, что представляет «С7 космические транспортные системы» в качестве первой космической транспортной компании мира, если в наличии будут следующие элементы:

- дешёвый и надёжный носитель с запусками с экватора по программе «Морской старт», а также с Байконура по программе «Наземный старт»;
- инфраструктура на низкой околоземной орбите в виде МКС;
- транспортные средства для межорбитальных и межпланетных перевозок с ЯЭРДУ.

geektimes.ru







## Предложен новый способ серийного производства полупроводников

Химики канадского Университета Ватерлоо упростили процесс создания нового класса быстрых и недорогих полупроводников. Благодаря открытому ими методу можно использовать углерод вместо кремния, что позволит уменьшить размер и увеличить скорость и срок службы этих устройств.

«Мы приближаемся к пределам физических возможностей кремниевых устройств, – сказал один из исследователей Дерек Шиппер. – Электроника на основе одностенных углеродных нанотрубок будет не только более мощной, но и станет потреблять меньше энергии».

Процесс, названный химиками Alignment Relay Technique, основан на жидких кристаллах, которые передают информацию об ориентации металлоксидной поверхности. Затем небольшие ароматические молекулы иптицены прикрепляются к поверхности, формируя паттерны направления; их структура содержит небольшие углубления, достаточные

для того, чтобы вместить углеродные нанотрубки определенного размера.

При этом сам процесс, после того как он разработан, уже не представляет особой сложности и не требует специального оборудования. Всю тяжелую работу берет на себя молекула. В отличие от метода самосборки, основанного на создании подходящих молекул, которые должны точно соответствовать друг другу, этим процессом можно управлять на каждом этапе, включая создание «кармана» в иптицене. Кроме того, как пишет Phys.org., это первый метод, который решает одновременно проблему ориентации и очистки углеродных нанотрубок.

«Впервые химики смогли управлять ориентацией маленьких молекул, ковалентно связанных с поверхностью, извне, – говорит Шиппер. – Мы не первые, кто нашел потенциальное решение для углеродных нанотрубок. Но оно единственное позволяет решить одновременно и проблему ориентации, и проблему чистоты».

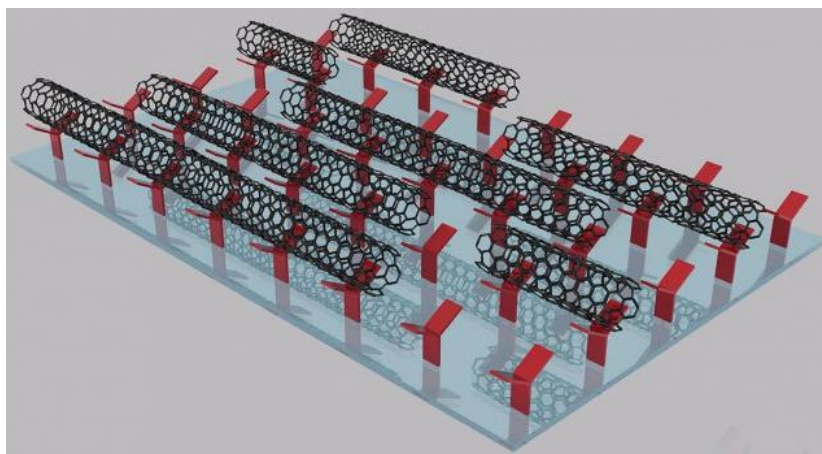


Фото: Angewandte Chemie International Edition

Физики Техасского университета в Далласе разработали принципиально новую вычислительную систему, созданную исключительно из углерода. Электроны, движущиеся через углеродные нанотрубки, создают магнитное поле, воздействующее на ток в графеновой наноленте, и попадают в логические вентили, физически между собой не соединенные.

рубки, создают магнитное поле, воздействующее на ток в графеновой наноленте, и попадают в логические вентили, физически между собой не соединенные.

*hightech.fm*



## Из жидкого сплава сделали прозрачный и гибкий проводник

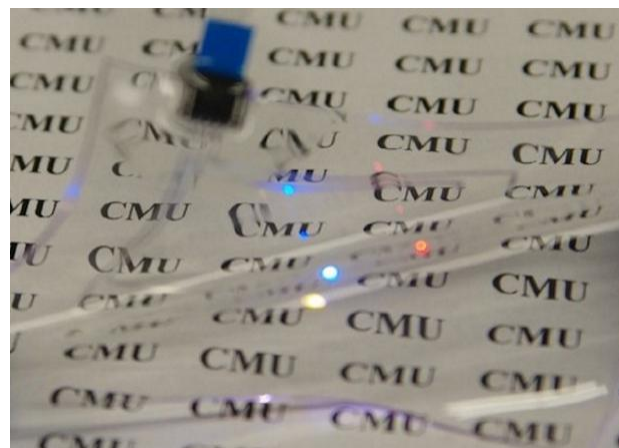
Инженеры разработали прозрачный, эластичный и электропроводный материал на основе сплавов. Как сообщается в журнале *Advanced Materials*, этот сплав состоит из тонких полосок нескольких сплавов металлов, в том числе жидкого, которые слишком малы, чтобы их можно было увидеть невооружен-

ным глазом, но достаточно электропроводны, чтобы снабжать энергией электронные устройства, такие как светодиоды. Поскольку все больше инженеров создают гибкую электронику, требуются новые материалы, которые могут не только проводить ток, но и быть прозрачными. Как правило, для этого исполь-

зуют прозрачные полимеры, но они плохо реагируют на механические нагрузки – даже если они могут растягиваться, многие теряют электропроводность и выдерживают мало циклов растяжения. Другое популярное решение – наносить на прозрачную и эластичную полимерную основу проводящие металлические дорожки. Проблема такого подхода заключается в том, что пока никому не удалось сделать такой композит с высокой общей прозрачностью и незаметными человеческому глазу полосками.

Инженеры под руководством Кармела Маджиди (Carmel Majidi) из Университета Карнеги – Меллона смогли создать по такой схеме прозрачный, эластичный и электропроводный материал. В его основе лежит прозрачный эластомер полидиметилсилоксан, на который наносят 20-нанометровый слой хрома и 100-нанометровый слой меди. После этого образец погружают в жидкий при комнатной температуре сплав EGaIn, который на три четверти состоит из

галлия и на четверть из индия. При этом он взаимодействует с медью и образует новый сплав. После того как образец достали из емкости с жидким сплавом и промыли, часть сплава все же осталась на поверхности.



Chengfeng Pan et al. / Advanced Materials, 2018

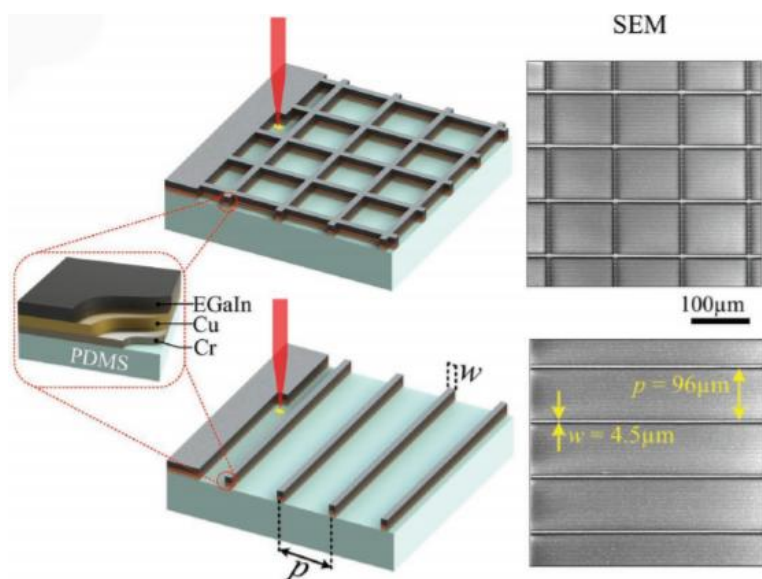


Схема вырезания проводящих дорожек лазером.  
Chengfeng Pan et al. / Advanced Materials, 2018

Инженеры показали, что такие электропроводящие дорожки можно использовать для соединения электронных компонентов. К примеру, на основе такого материала можно создавать сенсорные контактные линзы для камер. Инженеры припаяли к проводящим дорожкам несколько светодиодов и подключили образец к компьютеру и датчику углекислого газа. После распыления газа из баллончика

на линзе последовательно загораются светодиоды, сигнализирующие о разных концентрациях газа.

Прозрачные и эластичные материалы уже не первый год используются в разных разработках. Так, на их основе создали прозрачный тачпад, который можно прикрепить на руке, и прозрачный трибоэлектрический генератор, который вырабатывает электричество из движений тела.

nplus1.ru



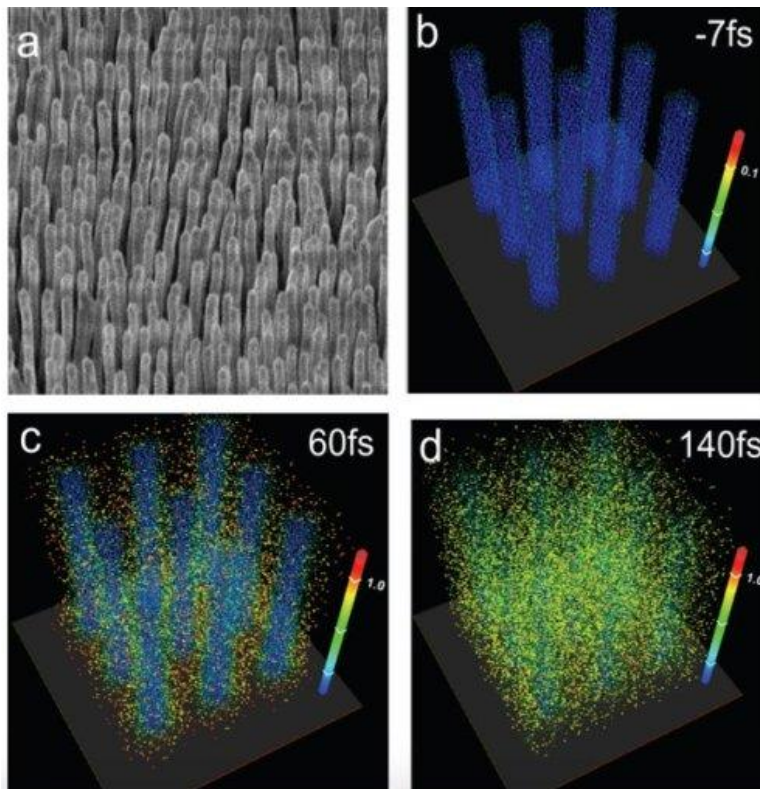


### Применение нанопроводников позволило увеличить эффективность микромасштабного ядерного синтеза



Исследователи из университета Колорадо (Colorado State University, CSU) установили новый рекорд в области эффективности ядерного синтеза, реализованного на микромасштабном уровне. Используя импульсы сверхскоростного мощного лазера, исследователи инициировали реакции ядерного синтеза, эффективность которых в 500 раз превышала эффективность в других подобных экспериментах. А ключевым моментом этого достижения является то, что в качестве цели для лазерного света выступал не традиционный плоский полимерный материал, в данном случае свет лазера фокусировался на множестве нанопроводников, материал которых образовал невероятно горячую и плотную плазму.

Отметим, что у нас в распоряжении имеется собственный термоядерный реактор, Солнце, которому мы обязаны своим существованием. В центре Солнца атомы водорода, проходя через цепочки ядерных реакций, превращаются в ядра гелия, выделяя при этом огромное количество энергии. Теоретически, если мы сможем использовать подобные процессы на Земле, то человечество получит ничем неограниченный источник экологически чистой энергии. В настоящее время в этом направлении проводится целый ряд работ и экспериментов, однако, практическое применение термоядерного синтеза в энергетике так и остается за пределами досягаемости.





Однако процесс термоядерного синтеза может оказаться очень полезным, работая в гораздо меньшем масштабе, нежели солнце и ядерные реакторы. Кроме того, для толчка термоядерного синтеза на микромасштабе не требуются огромные лазерные установки и атомная электростанция неподалеку. Исследователям из CSU вполне хватает одного лазера, который можно разместить на поверхности обычного лабораторного стола и который способен вырабатывать быстрые импульсы света.

В других подобных экспериментах в качестве мишени для лазерного света обычно используется плоская поверхность специального полимерного материала. Но в данном случае исследователи использовали «сеть» из нанопроводников, изготовленных из полиэтилена, насыщенного дейтерием. Мощные импульсы лазерного света разрушают и испаряют тончайшие нанопроводники в течение нескольких фемтосекунд (квадриллионных долей секунды), создавая в области пространства сверхвысокоплотную и

высокотемпературную плазму, которая, в свою очередь, испускает гелий и большое количество свободных нейтронов.

Ученые сообщили, что в своих экспериментах им удалось получить до 2 млн нейтронов в расчете на один джоуль энергии лазерного света. Это приблизительно в 500 раз больше, чем было получено в других экспериментах, что является абсолютным рекордом на сегодняшний день.

Однако термоядерный синтез, реализованный на микромасштабе, вряд ли можно будет использовать для получения энергии. Данное направление исследований нацелено на улучшение нашего понимания взаимодействия света и материи, кроме того, термоядерный синтез является достаточно эффективным «генератором» нейтронов, которые могут быть использованы для проведения съемки различных процессов внутри материалов, куда не может проникнуть даже рентгеновское излучение.

*dailytechinfo.org*



### Аморфные нанокompозиты увеличат мощность преобразования энергии



В Университете Карнеги – Меллона группа профессора материаловедения Мака Мак-Генри (Mike McHenry), занимающаяся разработкой металлических аморфных нанокompозитов (Metal Amorphous Nanocomposite Materials, MANC), создала два новых фазовых магнитных материала, сочетающих большую магнитную индукцию нанокристаллов и высокое электрическое сопротивление металлического стекла.

MANC недавно нашли применение в мощных трансформаторах, необходимых для преобразования энергии, поступающей от солнечных и ветроэлек-

тростанций, в индукторах энергосети и в электромоторах для машин и самолётов.

Обычно используемая в трансформаторах кремнистая (электротехническая) сталь характеризуется быстрым ростом потерь энергии и увеличением частоты переменного тока, но изотропная структура MANC позволяет этим материалам перемагничиваться с частотой, достигающей десятков килогерц, практически без потерь энергии.

Для синтеза новых материалов авторы применили технику наплавки планарным потоком (planar flow casting) на вращающийся медный барабан. Достижимая при этом очень высокая скорость охлаждения жидкого сплава железа, кобальта и никеля (миллион градусов в секунду) «замораживает» его в метастабильном состоянии металлического стекла.

В настоящее время команда Мак-Генри вместе с NASA, корпорацией Eaton и Национальной лабораторией энергетических технологий (NETL) и Университетом Северной Каролины работают над финансируемым Министерством энергетики США проектом создания мощного трёхпортового трансформатора, который свяжет фотоэлектрические панели с накопителем генерируемой ими электроэнергии.

*ko.com.ua*





## Изобретен наногенератор, который вырабатывает электрический ток при сгибании пальца



Сотрудники Университета Буффало и Китайской академии наук разработали специальное устройство, которое может преобразовывать движения человеческого тела в электроэнергию. Возможно, в скором времени мы сможем заряжать смартфоны и планшеты, всего лишь сгибая пальцы рук.

В основе работы наногенератора лежит трибоэлектрический эффект – явление, при котором электрические заряды появляются во время трения материалов. В качестве основы разработчики использовали золото и полидиметилсилоксан (ПДМС). Прибор крепится на палец руки, и, когда человек начинает им двигать, электроны перемещаются между золотыми слоями и слоем ПДМС, в результате выра-

батывается электроток. Чем сильнее и чаще происходят движения, тем большее количество энергии получается на выходе.

Размер устройства составляет полтора сантиметра в длину и один сантиметр в ширину; максимальное напряжение – 124 В, сила тока – 10 микроампер, а плотность мощности – 0,22 милливольт на квадратный сантиметр. Этого недостаточно, чтобы полностью зарядить, например, смартфон, но зато ученым уже удалось зажечь одновременно 48 светодиодов.

Создатели новинки утверждают, что, в сравнении с другими трибоэлектрическими приборами, этот отличается низкой стоимостью и простотой производства.

«Никому не нравится повсюду носить с собой дополнительный источник электроэнергии или быть привязанным к розетке, – сказал один из создателей прибора Киаканг Ган (Qiaoqiang Gan), – поэтому мы решили использовать ресурсы человеческого тела».

Ученые планируют увеличить размер пластин и в дальнейшем превратить наногенератор в достойную замену переносным зарядным устройствам.

Статья опубликована в журнале NanoEnergy.

*naked-science.ru*



## Китайская Hanergy побила сразу три рекорда КПД солнечных элементов

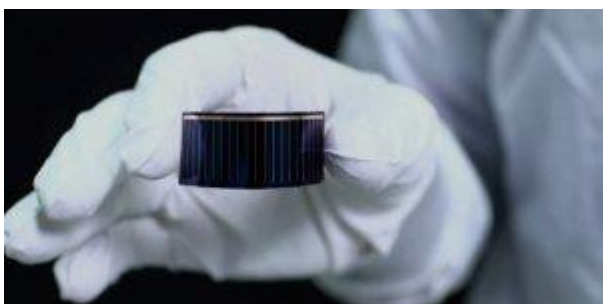


Фото: EAST NEWS

Новая технология преобразования солнечной энергии, разработанная китайской компанией Hanergy, побила сразу три мировых рекорда по энергоэффективности. Как пишет China Daily, новая технология может использоваться в беспилотных летательных аппаратах, солнечных панелях в домах, транспортных средствах и цифровых устройствах.

Hanergy – крупнейший производитель тонкопленочных солнечных элементов. Три вида панелей, выпускаемых дочерними компаниями Hanergy – Alta Devices, Solibro и MiaSole, – побили мировой рекорд по энергоэффективности. Это одноэлементный солнечный модуль GaAs, двойные стеклянные солнечные модули CIGS и солнечные модули CIGS на гибкой подложке, которые имеют рекордную эффективность преобразования энергии в 25,1%, 18,72 % и 17,88 % соответственно.

Новая технология может использоваться для беспилотных летательных аппаратов, работающих на солнечной энергии, а также в панелях на крышах домов, новых транспортных средствах и различной электронике. По словам представителей компании, возможности применения «бесконечны», так как технология может применяться практически во всех инновационных областях.

Кроме того, компания выпустила дрон на солнечных батареях. Без подзарядки он способен находить-

ся в воздухе 6–10 часов, тогда как время работы беспилотников, оснащенных только литий-ионными батареями, составляет всего полтора – два часа.

Как пишет издание, ожидается, что в ближайшие три года рынок солнечных панелей в КНР увеличится до \$15,1 млрд и станет дополнительным стимулом для роста экономики Китая.

hightech.fm



### Физики научились управлять порядком слоев в трехслойном графене

Японские физики разработали способ селективного получения трехслойного графена, с помощью которого можно контролировать точный порядок и взаимное положение слоев. Как пишут ученые в NPG Asia Materials, это позволяет управлять электронными свойствами графена, в частности, меняя линейную структуру электронных зон на параболическую.

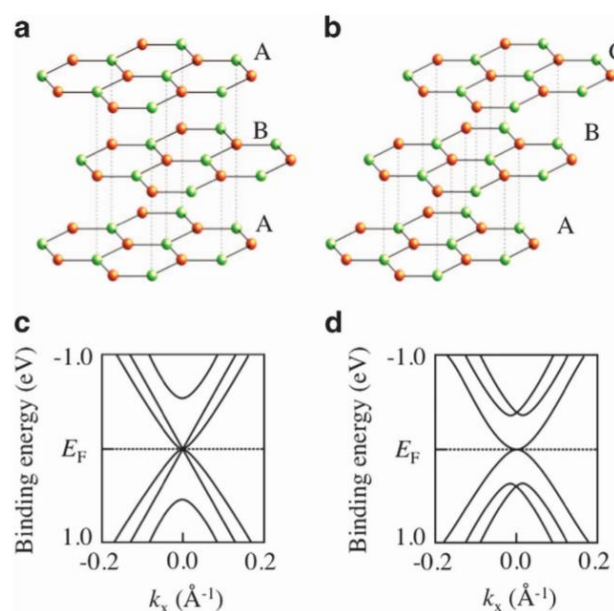
Структура кристаллов с гексагональной симметрией, как правило, определяется правилами плотнейшей шаровой упаковки, при которой атомы укладываются таким образом, чтобы занимать максимальный объем и сводить к минимуму свободное пространство между собой. Такая упаковка представляет собой составленные в стопку гексагональные слои, в которой каждый следующий слой оказывается смещенным относительно предыдущего. Всего возможно два варианта смещений, поэтому минимальное количество слоев разного типа в таком кристалле составляет два (в таком случае просто чередуются слои типов А и В), а максимальное – три (такие структуры могут быть как упорядоченными, например, ...ABCABC..., так и со случайным порядком слоев).

Поскольку гексагональную структуру решетки имеет и графен, то все эти правила верны как для графита, так и для графена, который образован не единственным слоем, а несколькими. В частности, если в трехслойном графене первые два слоя имеют структуру АВ, то третий слой может иметь две возможные пространственные ориентации: А или С. Согласно теоретическим оценкам, в зависимости от типа слоя, у двух типов трехслойного графена должны быть различными и электронные свойства, однако до настоящего дня получить селективно один из двух типов графена и исследовать их свойства экспериментально не удавалось.

Японские физики под руководством Такаси Такахаши (Takashi Takahashi) из Университета Тохоку предложили способ получения трехслойного графена с управляемым порядком слоев. Для этого сначала на подложке из карбида кремния исследователи выращивали двухслойный графен, оставляя между графеном и подложкой еще один, буферный, слой, состоящий из атомов углерода и связанный со структурой карбида кремния. Условия для получения графе-

на с разным порядком слоев отличались: в одном случае использовался отжиг в разреженной атмосфере аргона при температуре около 1 500 градусов Цельсия, а в другом – отжиг в вакууме при температуре 1 300 градусов. После отжига с помощью дополнительной обработки водородом при 500 градусах буферный слой заменялся слоем графена.

Полученные трехслойные структуры авторы работы исследовали с помощью электронной микроскопии, а их электронные свойства изучали с помощью фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением (angle-resolved photoemission spectroscopy, ARPES). Согласно теоретическим предсказаниям, характерная для однослойного графена линейная связь между импульсом и энергией электронов (которая на энергетической диаграмме проявляется в форме правильного дираковского конуса) в одном из типов трехслойного кристалла должна полностью пропасть, а в другом – сохраниться лишь для одной из трех пар энергетических зон.



Кристаллическая структура трехслойного графена с двумя типами упаковки слоев (сверху) и соответствующая структура энергетических зон, рассчитанная теоретически (снизу).

K. Sugawara et al./ NPG Asia Materials, 2018

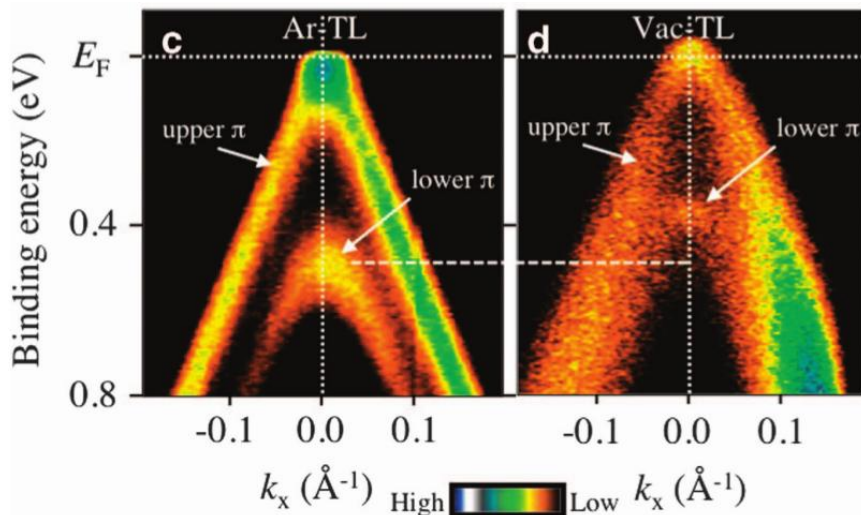
SPACE

International Publishing House for scientific periodicals "Space"

SPACE

Международный издательский дом научной периодики "Спейс"





Данные измерений фотоэлектронной спектроскопии с формой энергетических зон трехслойного графена с двумя типами упорядочения слоев (справа – АВА, слева – АВС). К. Sugawara et al./ NPG Asia Materials, 2018

Экспериментальные измерения подтвердили, что две различные модификации трехслойного графена обладают разными электронными свойствами. В случае порядка слоев АВА образуются три энергетические зоны, две из которых сходятся на уровне Ферми (одна линейная, как в однослойном графене, а другая – параболическая), тогда как для графена типа АВС лишь одна из трех пар зон имеет контакт на уровне Ферми, для двух других потолок валентной зоны расположен на уровне примерно 0,35 электрон-вольт ниже уровня Ферми.

Авторы работы отмечают, что подобное отличие в электронной структуре трехслойного графена, которым можно управлять просто с помощью расположения слоев друг относительно друга, открывает

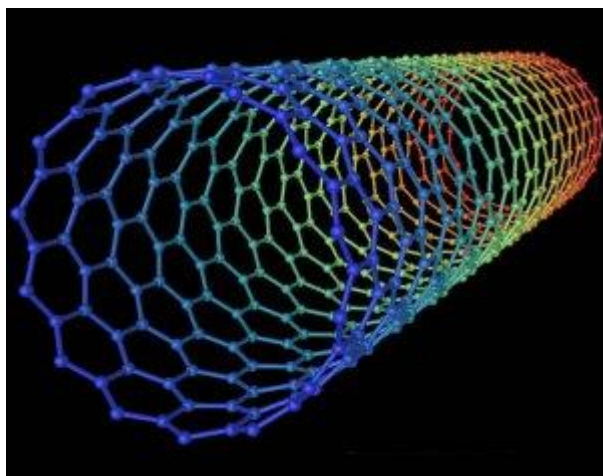
дополнительные возможности для создания электронных устройств на основе многослойных структур из двумерных кристаллов.

Стоит отметить, что уникальными свойствами (электронными, тепловыми и механическими), которые отличаются от свойств объемного кристалла, обладает графен, в котором содержится один, два или три углеродных слоя. Например, только двухслойный графен можно сжать в алмазоподобную структуру с повышенной поперечной жесткостью. Для структур, состоящих из четырех и более слоев, значительная часть свойств не отличается от свойств графита. Это же характерно и для других двумерных материалов, в частности дихалькогенидов переходных металлов.

*nplus1.ru*



### Ученые разработали высокопроводящий прозрачный электрод на основе углеродных нанотрубок



Специалисты из Сколтеха под руководством профессора Альберта Насибулина придумали, как улучшить оптические и электрические свойства пленок из углеродных нанотрубок

Полученные результаты могут ускорить развитие гибкой и носимой электроники, основанной на углеродных нанотрубках.

Рынок сенсорной электроники активно растет, и для создания электроники следующего поколения необходимы новые материалы. Устройства и приборы на основе таких материалов должны быть гибкими и растягиваемыми, работать дольше и в условиях любого освещения на улице.

Применяемые в современной электронике прозрачные проводники на основе оксидов металлов имеют ряд недостатков: хрупкость, сложности при

использовании в солнечную погоду из-за высокого коэффициента отражения, неестественные цвета пленки электрода, невозможность сгибаться и растягиваться. Все это ограничивает различные возможности применения прозрачных электродов в современных дисплеях и носимой электронике.

Пленки из однослойных углеродных нанотрубок – потенциальные кандидаты электроники будущего, способные заменить наиболее часто используемые оксиды металлов на основе цинка и олова. Они гибкие, прочные, химически стабильные. Однако для того, чтобы пленки из углеродных нанотрубок все-таки смогли заменить пленки из оксида металла, необходимо улучшить их опико-электрические характеристики, которые ограничивают их область применения.

Ученым из Сколтеха удалось создать пленки из углеродных нанотрубок, не уступающие по своим характеристикам пленкам из оксидов металлов, широко используемым в электронике.

При производстве таких тонких пленок важным этапом является процесс легирования, он меняет электрические и оптические характеристики получаемого материала. Специалисты усовершенст

ли технологию легирования однослойных углеродных нанотрубок, что позволило значительно улучшить характеристики обработанных пленок.

«В нашей работе мы использовали хлорид золота как наиболее эффективный легирующий элемент. С его помощью мы смогли улучшить опико-электрические характеристики пленок из однослойных углеродных нанотрубок. В частности, мы оптимизировали условия легирования и выбрали оптимальный растворитель для такого легирования. Мы изучили, как наиболее распространенные растворители при разных температурах оказывают влияние на опико-электрические характеристики», – рассказал первый автор исследования, аспирант Сколтеха Алексей Цапенко.

В результатах исследования показаны рекордные значения опико-электрических характеристик для пленок из однослойных углеродных нанотрубок, а именно, эквивалентное поверхностное сопротивление, равное  $40 \Omega/\square$ , при пропускании 90 % в видимом диапазоне спектра. Полученные значения существенно превосходят описанные ранее для пленок из однослойных углеродных нанотрубок.

*naked-science.ru*



### Создан первый в мире солнечный топливный реактор, который будет продолжать работать в темное время суток



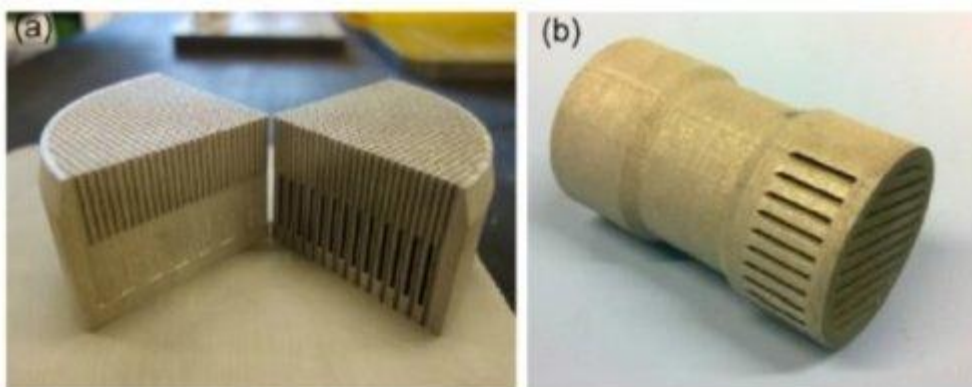
Ученые из Немецкого космического агентства DLR разработали первый в своем роде солнечный топливный реактор, особенности строения которого позволяют ему продолжать функционировать и в темное время суток. Реактор, получивший название

CONTISOL, способен вырабатывать водород и другие виды топлива, используя концентрированную солнечную энергию. А в качестве теплоносителя, позволяющего аккумулировать и передавать тепло в пределах устройства, выступает обычный воздух.



Эффективность традиционных солнечных топливных реакторов напрямую зависит от количества тепла, получаемого от энергии солнечных лучей, стоит только солнцу скрыться за тучами или горизонтом, такие реакторы полностью перестают работать. «Нам удалось совместить в одном устройстве две разные технологии: технологию эффективного аккумулирования энергии и технологию химических преобразований под воздействием тепловой энергии», – написали исследователи.

Собственно химические превращения происходят внутри изолированных каналов, внутренняя поверхность которых покрывается слоем соответствующего катализатора. А вся остальная структура реактора CONTISOL представляет собой теплообменник и хранилище тепловой энергии, запасов которой хватает для продолжения работы реактора в случае исчезновения притока энергии извне.



В настоящее время исследователями из DLR был создан небольшой опытный образец реактора CONTISOL, который работает при температуре 850 градусов Цельсия и который способен превратить в химическую энергию вырабатываемого топлива до 5 кВт тепловой энергии, подаваемой извне. «Это масштаб экспериментального опытного образца, который мы используем для разработки принципов контроля и управления такими устройствами, – сообщили исследователи. – Когда мы завершим работы, можно будет говорить о подобных установках, мощностью от 1 МВт до 5 МВт и даже до 100 МВт».

Испытания опытного реактора CONTISOL проводились в двух местах, сначала на установке «ис-

кусственного солнца» Synlight, которая находится в распоряжении агентства DLR и которая обеспечивала нагрев реактора до температуры 850 градусов Цельсия. Позже этот же реактор был испытан в более жестких условиях – на солнечной башне, стоящей в середине поля зеркал, а температура нагрева реактора в последнем случае составила около 1 100 градусов Цельсия.

В заключение следует отметить, что немецкие ученые надеются на то, что их разработка превратится в будущем в полномасштабную систему, которая сделает водородную энергетику и водородные автомобили еще на один шаг ближе к массовому внедрению и использованию.

[dailytechinfo.org](http://dailytechinfo.org)



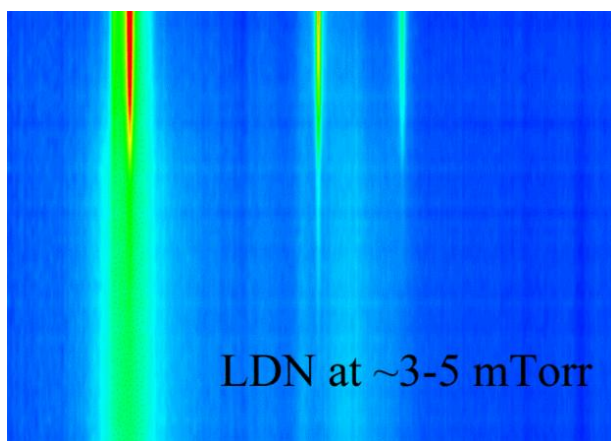
### Быстрая декомпрессия льда помогла получить воду пониженной плотности

С помощью быстрой декомпрессии льда физикам впервые удалось получить в лабораторных условиях фазу жидкой воды пониженной плотности. Существование подобной метастабильной фазы воды наблюдается при температуре от  $-135$  до  $-110$  градусов Цельсия и давлении от 0,4 до 0,7 паскаля, сообщили ученые в Proceedings of the National Academy of Sciences.

На данный момент для водного льда известно 17 различных кристаллических фаз, устойчивых при различных температурах и давлениях. Изменяя внешние условия, лед можно переводить из одного состояния в другое. При этом проводить эти изменения можно с разной скоростью: если делать это достаточно мед-

ленно, то происходит образование термодинамически устойчивых состояний, а если быстро, то молекулы не успевают подстроиться под новые условия и образуются метастабильные фазы. Однако для воды значительная часть возможных метастабильных фаз пока описана только теоретически или с помощью компьютерного моделирования. Добиться же получения необходимых условий в эксперименте весьма затруднительно. Одни из таких метастабильных фаз – жидкая вода пониженной и повышенной плотности, существование которых возможно при низких температурах и давлениях и на данный момент только теоретически.



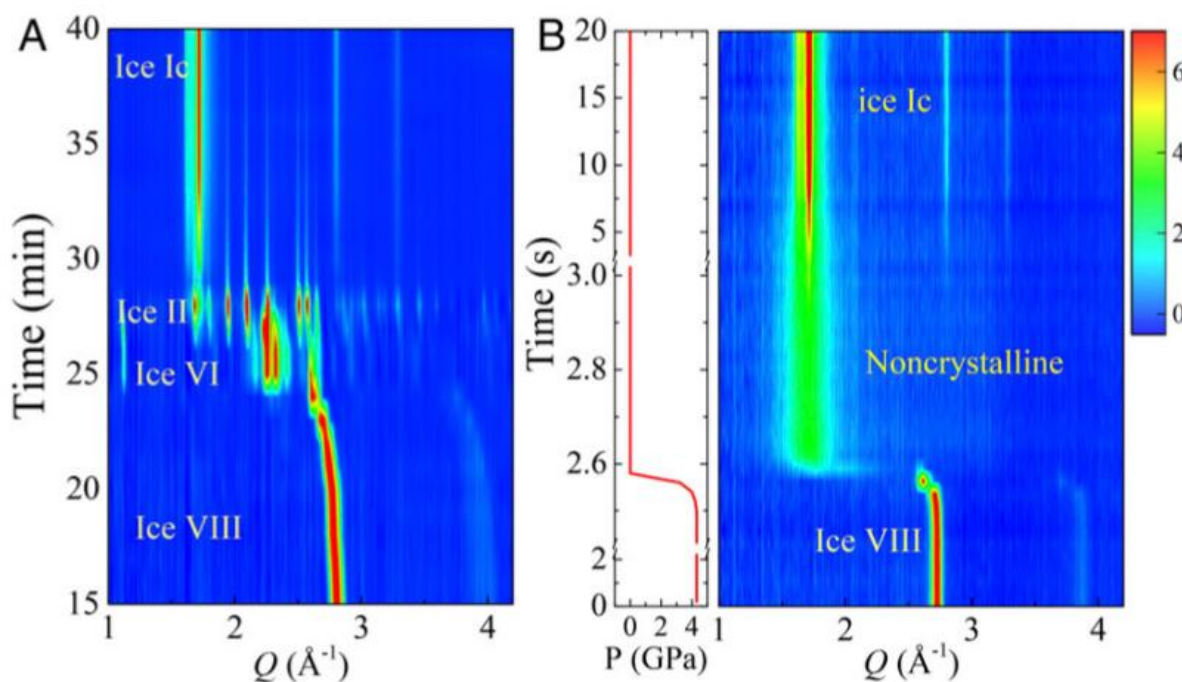


Картина изменения интенсивности рентгеновских дифракционных пиков при декомпрессии льда при температуре 150 кельвинов. Фаза воды низкой плотности на рисунке обозначена надписью (LDN – low-density noncrystalline). С. Lin et al./ PNAS, 2018

Американские физики из Института Карнеги под руководством Гоиня Шэня (Guoyin Shen) обнаружили, что фазу жидкой воды пониженной плотности можно получить при быстрой декомпрессии фазы льда VIII. Это твердая фаза с тетрагональной сим-

метрией устойчива при давлении больше двух гигапаскалей в широком диапазоне температур. При медленном снижении давления (со скоростями ниже 0,01 гигапаскалей в секунду) до 0,5 паскаля при температуре ниже  $-100$  градусов Цельсия этот лед переходит в фазу льда VI, а затем – в кубическую модификацию льда I (Ic).

Оказалось, что если снижать давление быстро, то при температуре от  $-135$  до  $-110$  градусов Цельсия фазовые превращения происходят по-другому: вместо последовательного перехода между различными равновесными фазами, лед VIII переходит в Ic через единственное промежуточное состояние в этом случае – метастабильную некристаллическую фазу. У льда таких фаз несколько, в первую очередь аморфный твердый лед различной плотности. Однако в данном случае температуры проведения эксперимента выше температуры стеклования льда, и исходя из данных времязависимой рентгеновской дифракции, обнаруженная некристаллическая фаза соответствует жидкой фазе пониженной плотности.



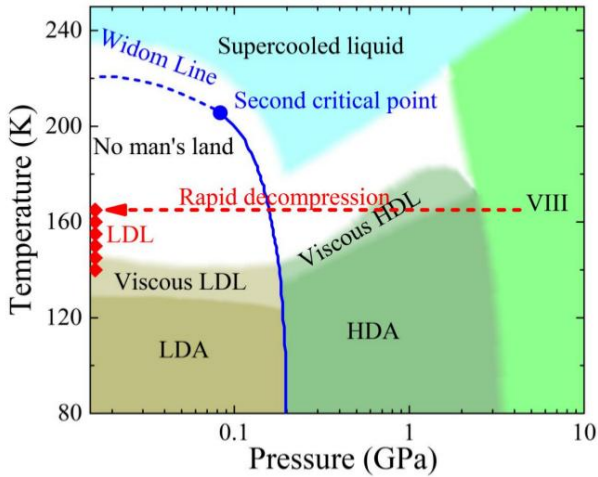
Изменение дифракционной картины при декомпрессии льда VIII: слева – при медленном снижении давления (скорость меньше 0,01 гигапаскаля в секунду), справа – при быстрой (48 гигапаскалей в секунду). Температура в обоих случаях 160 кельвинов.

С. Lin et al./ PNAS, 2018

Ученые утверждают, что для этой фазы характерно формирование сетки с тетраэдрической структурой, которая сильно отличается от структуры переохлажденной воды и скорее соответствует кристал-

лическим мотивам, которые можно найти в структуре аморфного льда. По словам авторов работы, одним из подтверждений образования именно фазы воды пониженной плотности служит сильная зави-

симость от температуры скорости кристаллизации кубической фазы льда из фазы воды пониженной плотности. Это отличие составляет сразу шесть порядков и меняется от получаса при 140 кельвинах до 8 миллисекунд при 165 кельвинах.



Фазовая диаграмма некристаллических (жидких и аморфных) метастабильных состояний воды при температурах ниже  $-20$  градусов Цельсия. Красными точками обозначены условия, при которых экспериментально наблюдалось существование воды пониженной плотности при быстрой декомпрессии льда VIII. C. Lin et al./PNAS, 2018

Диапазон условий, при которых наблюдается образование фазы жидкой воды пониженной плотности, сильно зависит и от скорости декомпрессии. Если понижать давление со скоростью 50 гигапа-

скалей в секунду, то максимальная температура, при которой наблюдается образование нужной фазы, составляет 165 кельвинов. При уменьшении скорости декомпрессии до пяти гигапаскалей в секунду область существования нужной фазы сужается и уже при температуре выше 145 кельвинов происходит прямой переход из фазы льда VIII в состояние льда VI.

Авторы работы отмечают, что на фазовой диаграмме метастабильных состояний льда еще остаются области параметров, которые пока недоступны экспериментально. В будущем ученым предстоит изучение этих состояний воды, а также переходов между ними в лабораторных условиях.

Напомним, что совсем недавно другая группа ученых впервые получила в лабораторных условиях другую необычную фазу воды – суперионный лед. В таком состоянии ионы кислорода образуют жесткую кристаллическую решетку, а ионы водорода свободно перемещаются по ней. Также ученые успешно получают и другие метастабильные фазы льда: например, недавно физики смогли получить лед с рекордной долей кубической фазы – 78 процентов. Кроме того, с помощью компьютерного моделирования исследователи обнаружили, что при отрицательных давлениях (когда к кристаллу приложена растягивающая сила) возможно существование пористых фаз пониженной плотности.

*nplus1.ru*

