

An abstract graphic on the right side of the page, consisting of a glowing blue wireframe mesh that forms a curved, funnel-like shape. The mesh is composed of numerous interconnected points and lines, creating a sense of depth and movement. The background is a dark, textured blue.

СВОДНЫЙ ДАЙДЖЕСТ

открытий в области

умной химии

ЯНВАРЬ-МАРТ 2020г.



Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева – ведущий химико-технологический вуз России и стран ЕврАзЭС.

Мощный научный и кадровый потенциал университета позволяет разрабатывать уникальные технологии, создать новые материалы для нужд городского хозяйства в таких областях, как химия, энергетика, строительство, медицина, информационные технологии, металлургия, транспорт и другие. Научные разработки осуществляют 50 выпускающих кафедр, 20 научно-исследовательских лабораторий и центров, малые инновационные предприятия.

За 120 лет истории Менделеевский университет подготовил около 100 тысяч специалистов и стал одним из ведущих научно-образовательных центров страны. Именно здесь получили образование выдающиеся специалисты, ученые с мировым именем, руководители крупнейших предприятий, которые принимали и принимают участие в развитии химической промышленности и науки в мировом масштабе.

РХТУ им. Д.И. Менделеева сегодня:

11 институтов и факультетов

50 выпускающих кафедр

20 исследовательских центров и лабораторий

Детский технопарк

Инжиниринговый центр

Инновационный центр «Долина Менделеева»

7000 студентов

550 кандидатов наук

160 докторов наук

12 академиков

и членов-корреспондентов РАН

Более **150** проектов в рамках федеральных целевых программ, грантов научных фондов, договоров с промышленными предприятиями

Свыше **120** договоров о сотрудничестве с университетами и организациями **35** стран мира

Направления научных исследований университета



В мае 2019 года Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева при поддержке крупных компаний химической отрасли и частных инвесторов выступил инициатором создания **Акселератора Mendeleev**.

Миссией Акселератора Mendeleev является содействие в коммерциализации российских научных разработок в сфере химических технологий путем ускоренного развития стартапов и spin-off компаний и выстраивания эффективных партнерств с индустриальными компаниями.

Ключевыми технологическими направлениями работы Акселератора Mendeleev являются:

- Агротехнологии,
- Новые материалы и особо чистые вещества,
- Химия специального назначения,
- Повышение качества жизни.

С августа 2019 года Акселератор Mendeleev публикует еженедельные дайджесты открытий, которые меняют традиционные рынки и способствуют улучшению качества жизни. Предлагаемый Вашему вниманию сборник является консолидированным перечнем инновационных открытий первого квартала 2020 года.

Тематически дайджесты объединены в 6 разделов: медицина, аддитивные технологии, технологии для повышения качества жизни, энергетика, электроника будущего и материалы и технологии для строительства. Рассматриваемые фокусные направления не только перекликаются с технологическими треками Акселератора, но и имеют высокий потенциал по объемам рынка.

По данным Statista, объем рынка медицинских технологий в 2019 году составил \$457 млрд, а к 2024 году достигнет объема в \$594 млрд (CAGR - 5%)¹. Рынок аддитивных технологий, по данным Frost & Sullivan, к 2025 году достигнет величины в \$21,5 млрд. (CAGR - 15%)².

Рынок инженерных разработок в области энергетике в 2019 году был оценен Azoth Analytics в \$233 млрд³, по прогнозам Allied Analytics LLP рынок возобновляемой энергии к 2025 году достигнет объема в \$1512 млрд⁴.

По данным Grand View Research, объем рынка потребительской электроники достигнет к 2020 году объема в \$838 млрд⁵.

¹ <https://www.statista.com/topics/1702/medical-technology-industry/>

² <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/frost-sullivan-additive-manufacturing-technologies-market-trends-and-p/>

³ <https://www.marketresearch.com/Azoth-Analytics-v4068/Global-Electrical-Engineering-Services-System-12948451/>

⁴ <https://www.alliedmarketresearch.com/renewable-energy-market>

⁵ <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-consumer-electronics-market>

Рынок строительных материалов достигнет объема в \$546 млрд по оценке аналитиков Research and Markets ⁶.

Реализуемые в этих областях r&d-исследования характеризуются высоким потенциалом коммерциализации, наиболее примечательные работы мы приводим в предлагаемом Вашему вниманию дайджесте.

\

⁶ https://www.researchandmarkets.com/reports/338354/construction_materials_market_analysis_trends?utm_source=BW&utm_medium=PressRelease&utm_code=59xfq3&utm_campaign=1307997+-+Global+Construction+Materials+Markets+2019-2025%3a+Market+is+Projected+to+Grow+by+US%24529.2+Billion&utm_exec=chdo54prd

Оглавление

Раздел «Медицина».....	7
Раздел «Аддитивные технологии»	16
Раздел «Технологии для повышения качества жизни»	19
Раздел «Энергетика».....	25
Раздел «Электроника будущего»	30
Раздел «Материалы и технологии для строительства»	34



Раздел «Медицина»

➤ Полимерные микрокапсулы для вакцин

Исследователи из Института биоорганической химии РАН, Центра вирусологии и микробиологии, Сеченовского университета и РХТУ разработали полимерные биоразлагаемые микрокапсулы, перспективные для доставки в организм лекарственных средств.

Препараты на основе РНК или ДНК могут быть эффективными противовирусными вакцинами, но из-за различных факторов окружающей среды их действие заметно ослабляется. В работе ученые показали, что лекарства можно защитить от внешнего воздействия при помощи полимеров. Они разработали многослойные капсулы на основе биоразлагаемого полимера альгинат/поли-L-лизина и “завернули” в них модельные вещества.

Эффективность защитных капсул исследователи протестировали на группах лабораторных мышей, которым делали внутримышечные инъекции. Каждая группа мышей состояла из 15 индивидов. Первой вводили модельный лекарственный препарат, незащищенный капсулой, второй - препарат, “завернутый” в микрокапсулы, а третья группа была сравнительной, ей вводили капсулы без препарата. Ученые оценивали уровень титра антител, которые вырабатывались у мышей спустя 28 дней после эксперимента, чем больше уровень титра - тем эффективнее подействовало лекарство. Выяснилось, что уровень титра антител во второй группы в 4 раза превышает уровень для первой группы, что говорит об эффективности разработанных микрокапсул⁷.

➤ Новый метод синтеза производных имидазола

Ученые кафедры технологии тонкого органического синтеза и химии красителей РХТУ им. Д.И. Менделеева в партнерстве с академическими институтами предложили новый метод синтеза полифункциональных производных имидазола. Этим методом можно синтезировать разнообразные производные имидазола, включая молекулы с фрагментами фурукумарина и фуропиранона.

У таких веществ много различных применений, одно из самых интересных - синтез биологически активных субстанций для создания новых лекарств. При этом предложенный метод синтеза технологически прост, ведь в нем не используется колоночная хроматография для выделения целевых продуктов⁸.

⁷ https://link.springer.com/article/10.1007/s10529-020-02816-1?fbclid=IwAR3K26uY14_B4K-gVXglbRy_gKCaOKF5Gf12SodOgouSHmeB1mtBcBEVow4#author-information

⁸ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040402020300375?fbclid=IwAR0WxPrsP2EVzOlq4HkzROEt64iSim4DUxHrA4XI-G3dGvqqWf4lqMiwGk&via%3Dihub>

➤ **Новый полимер для создания искусственной кожи**

Исследователи из МГУ вместе с зарубежными коллегами на шаг приблизились к созданию идеальной «искусственной кожи». Они синтезировали сополимер — большую молекулу, которая состоит из нескольких видов полимеров. На концах полимера расположены терминальные участки — атомные группы отличного от основной цепи химического состава. При самосборке полимера терминальные участки образуют очень прочные нанополлимерные шарики. Таким образом получается, что материал имеет очень прочную сердцевину, от которой отходят ветви. Созданная из такого материала ткань проявляла эластичность и могла очень быстро упрочняться при приложении нагрузки.

Созданная кожа обладает уникальными свойствами — она мягкая и проявляет упругость при воздействии на нее, но при растяжении эта ткань резко упрочняется. Нарушить целостность кожного покрова можно только очень сильным механическим воздействием. Создать искусственный материал, обладающий такими же свойствами, пока не удавалось. Между мягкостью и прочностью всегда приходится выбирать что-то одно.

Полимеры, по словам ученых, не содержат никаких цитотоксичных веществ. Кроме того, они не имеют в своем составе растворителя, который мог бы изменить физические и химические свойства ткани, как это бывает в случае с гидрогелем.

Теперь исследователи планируют проанализировать микроструктуру ткани и найти способ добиться улучшения ее механических характеристик ⁹.

➤ **Сверхчувствительные биосенсоры для измерения уровня глюкозы в крови**

Биосенсор — электрохимический датчик, позволяющий в реальном времени определять состав биологических жидкостей. Единственное на сегодняшний день массовое бытовое применение биосенсоров — в приборах для моментального измерения уровня глюкозы в крови. Но учёные считают, что уже в недалеком будущем бытовые электронные приборы с биосенсорами смогут идентифицировать личность, делать медицинские анализы, ставить диагнозы, непрерывно контролировать состояние здоровья и составлять оптимальный рацион питания для конкретного человека в зависимости от текущего состояния его организма. Биосенсоры могли бы быть встроены в смартфоны, умные часы и другие гаджеты уже сейчас, но главными препятствиями являются их высокая стоимость и низкая чувствительность.

Ученые из МФТИ нашли недорогой способ, как поднять чувствительность биологических датчиков до уровня, достаточного для их применения в бытовых приборах. Традиционный биосенсор состоит из кольцевого резонатора и волновода, расположенного в одной плоскости с резонатором. Ученые решили попробовать разнести эти два элемента и поместить их в разные плоскости.

Работа биосенсоров основана на том, что за счет поглощения органических молекул поверхностью датчика происходит небольшое изменение показателя преломления последней. Это изменение фиксируется с помощью резонатора, так как даже самые слабые колебания показателя преломления вызывают значительное смещение

⁹ <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acscentsci.9b01216>

резонансных пиков. Поэтому биосенсор способен откликаться чуть ли не на каждую органическую молекулу, попадающую на поверхность датчика.

В предложенной учеными новой компоновке биосенсора вся его оптическая часть — источник и детектор излучения располагаются внутри диэлектрика. Снаружи же остается только чувствительная зона конструкции — золотое колечко диаметром несколько десятков микрометров и толщиной несколько десятков нанометров¹⁰.

➤ **Новые материалы для стоматологии**

По данным Всемирной организации здравоохранения, зубной кариес – самое распространенное на планете неинфекционное заболевание.

Китайские ученые под руководством Цюань Ли из Аньхойского медицинского университета решили использовать для предотвращения кариеса механизмы, заложенные природой. Зубная эмаль не восстанавливается сама по себе, а разрушается при механическом, либо микробном воздействии. Против второго эволюция создала неплохой защитный механизм, в виде антимикробных пептидов, содержащихся в слюне человека. Они обволакивают зубы пленкой, препятствующей их воздействию.

Ученые поставили перед собой задачу разработать на основе природного антимикробного пептида Н5, вырабатываемого слюнными железами, новый материал, который будет предотвращать заселение поверхности зуба налетообразующими бактериями, снизит разрушение зубной эмали, а в идеале — и будет ее восстанавливать, запустив процесс реминерализации. Для стимулирования реминерализации ученые добавили к одному концу его молекулы фосфосериновую группу, которая, по мнению исследователей, способна привлечь больше ионов кальция для восстановления эмали, чем естественный Н5.

Эксперимент на коренных зубах человека показал, что модифицированная версия пептина лучше впитывается в поверхность зуба, дольше противостоит микробам и защищает зубы от деминерализации. При достаточном слое пептидного покрытия и его регулярном обновлении микробы будут погибать до того, как доберутся до эмали, а сама эмаль будет успевать восстанавливаться. Авторы назвали новое антикариесное покрытие пептидным лаком. Ученые считают, что в ближайшем будущем пептидный лак станет таким же обязательным средством ежедневной гигиены зубов, как и зубная паста¹¹.

➤ **Высокоточный метод диагностики аневризмы головного мозга**

Лечение аневризмы достаточно сложное и опасное, потому что диаметр артерии всего 6 мм, здесь требуется практически ювелирная работа нейрохирурга. Ученые Тамбовского государственного технического университета (ТГТУ) разработали комплексную методику диагностирования аневризмы головного мозга, позволяющую с высокой точностью определить вероятность возможного разрыва сосудов при стентировании или других видах операций.

¹⁰ <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/1/203>

¹¹ <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsami.9b19745>

Суть методики заключается в том, что на основе данных ангиограммы - исследования сосудов с помощью сложных математических расчетов моделируется кровотоки и далее определяются риски возможного разрыва аневризмы при операции.

Еще одним ноу-хау программного комплекса является возможность оценить биологические свойства тканей сосудов, их качество. Подобного комплексного решения в России еще не было. Это совершенно новый инструментарий в развитие современной высокотехнологичной медицины. Уже в этом году методику намерены опробовать в ведущих научных центрах страны - Институте нейрохирургии имени Н. Н. Бурденко в Москве, Медицинском исследовательском центре им. В.А. Алмазова в Санкт-Петербурге, Национальном исследовательском центре им. Мешалкина в Новосибирске ¹².

➤ **«Умная» повязка для лечения хронических ран**

Биоинженеры из США разработали беспроводную «умную» повязку, которая может доставлять лекарства к длительно не заживающей ране и ускорить лечение хронических ран.

Новая повязка, разработанная учеными из Коннектикутского университета, Университета Небраски-Линкольна и Гарвардской медицинской школы, может помочь в лечении хронических ран. Она оснащена миниатюрными иглами, напечатанными на 3D-принтере. Эти иглы способны проникать в более глубокие слои раны, не принося сильную боль пациенту и не вызывая воспаления. При этом повязку не нужно постоянно менять. К повязке прилагается электронное устройство – смарт-платформа, – с помощью которой можно регулировать дозировку и момент высвобождения лекарства, которое доставляется через миниатюрные иглы. Разработку проверили сначала на клетках, а затем на мышах, страдающих диабетом, у которых болезнь вызвала повреждение кожи. Благодаря «умной» повязке у мышей проявились признаки полного заживления ран без образования рубцов ¹³.

➤ **Новая технология изготовления полимерных имплантов**

Установка такого инородного тела, как имплантат, – большой стресс для организма, и именно поэтому среди ключевых задач ученых – обеспечить быструю приживаемость и максимально долгий срок службы изделия. Успех зависит как от свойств самого исходного материала, так и от структурных особенностей имплантата, методов производства и многого другого. Можно использовать металл, керамику, различные полимеры, а также их комбинации.

Ученые НИТУ «МИСиС» совместно с коллегами из НМИЦ им. Н.Н. Блохина и Технического университета Дортмунда разработали уникальную технологию изготовления полимерных имплантатов со структурой натуральной кости.

Одним из наиболее популярных материалов для производства костных имплантатов является сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ). Разработка ученых – биомиметический скаффолд из СВМПЭ, структура которого скопирована со структуры настоящей кости млекопитающего. Первоначально эксперименты проводились

¹² <https://nauka.tass.ru/nauka/7661187>

¹³ <https://onlinelibrary.wiley.com/10.1002/adfm.201905544>

с фрагментами костей коровы. Костный мозг удалялся при помощи перекиси водорода, затем кость заполнялась полиэфирсульфоном – для формирования «негатива» внутренней структуры. Затем полученный «негатив» отмывался при помощи соляной кислоты, заполнялся порошком СВМПЭ, и происходило термопрессование. Наконец, образец погружался в N-метилпирролидон – тот полностью растворял полиэфирсульфоновый «негатив», оставляя только пористый СВМПЭ, обладающий структурой, имитирующей изначальную структуру кости.

Ученые из Технического университета Дортмунда проводили оценку топографии образца, а благодаря специалистам из НМИЦ им. Н.Н. Блохина были проведены испытания *in vitro*. Проведенные эксперименты по инкубации имплантата с мультипотентными мезенхимальными стромальными клетками доказали их 75%-ю пролиферацию уже через 48 часов.

Далее ученые планируют тестировать различные комбинации материалов для изготовления имплантатов с губчатой сердцевиной и твердой оболочкой. По словам исследователей, наиболее перспективная ниша для потенциального внедрения разработки – ветеринария¹⁴.

➤ **Нейроимплант, который можно перепрограммировать и заряжать дистанционно**

Исследователи из Университета Райса представили первый нейронный имплант, который можно перепрограммировать и заряжать дистанционно, с помощью переменного магнитного поля.

В основе технологии, лежит интегрированная микросхема особой конструкции. Она состоит из трех компонентов: магнитоэлектрической пленки размером 2 на 4 мм, которая преобразует переменное магнитное поле в электрический ток, чипа и конденсатора для временного хранения энергии. Все они расположены на гибкой полиимидной подложке.

По словам авторов, лучше всего такие импланты подойдут для тех случаев, когда необходимо регулировать режим работы вживляемого устройства — например, при лечении эпилепсии или болезни Паркинсона. Другие способы передачи энергии и данных, включая ультразвук, электромагнитное излучение или оптическую связь, не способны обеспечить аналогичный уровень надежности. Кроме того, использование магнитных полей намного безопаснее, ведь они не поглощаются тканями и не нагревают их. Команда подтвердила долговременную надежность микросхемы в экспериментах со структурами из агара, которые имитировали человеческие ткани. Кроме того, имплант успешно испытали на обыкновенной гидре. Планируются тесты и на других животных моделях.

Пока микросхема может только принимать сигналы, однако исследователи работают над тем, чтобы сделать связь двусторонней. Это позволит имплантам собирать

¹⁴ <https://www.sciencedirect.com/pii/S0141391020300082>

данные о состоянии организма и передавать их на сторонние устройства¹⁵.

➤ **Наноматериалы для медицинских биосенсоров**

Команда исследователей из Университета Центральной Флориды и Техасского университета в Далласе впервые создала полые функциональные наноматериалы, которые могут быть использованы для создания высокочувствительных биосенсоров для скрининга рака на ранних стадиях. Полые наноматериалы обладают хорошими оптическими свойствами, благодаря чему их можно использовать для разработки улучшенных тест-систем для раннего выявления заболеваний. В настоящее время такие технологии зачастую недостаточно чувствительны для обнаружения маркеров различных типов рака.

В обычных тест-системах наночастицы золота часто используются в качестве маркеров. Они соединены с антителами и могут быть легко обнаружены из-за оптического явления, называемого локализованным поверхностным плазмонным резонансом (ЛППР). Новый метод позволяет создавать полые материалы с такими свойствами. По сравнению с твердыми аналогами такие наноструктуры обладают гораздо более сильной активностью ЛППР, благодаря чему создают более интенсивный цветовой сигнал. Поэтому при использовании таких частиц возможно повысить предел обнаружения, например, онкомаркеров, из-за увеличения интенсивности излучаемого света.

Авторы смогли создать такие полые материалы на основе серебра, золота, палладия и платины. Они также изготовили из них сенсоры, которые смогли определить присутствие в среде онкомаркера рака предстательной железы в концентрации до 0,1 нанограмма на миллилитр. Исследователи надеются, что их платформу для синтеза полых наноматериалов можно будет использовать не только для создания биосенсоров, но и в других областях¹⁶.

➤ **Новый способ адресной доставки лекарств**

Каждый год синтезируется несколько тысяч новых молекул, в том числе и биологически активных. Но самое интересное для исследователей теперь — не само соединение, а способ его введения в организм. Традиционные способы обычно связаны с введением достаточно большого количества действующего вещества, потому как значительная часть его либо сразу перерабатывается организмом, либо не может проникнуть в целевой орган в достаточной дозе. В случае противораковой терапии это приводит к повреждению не только больных, но и здоровых клеток, а также высокой стоимости лечения. Снизить затраты и вред для организма может адресная доставка. При ее использовании молекулы лекарства вводятся в организм заключенными в капсулы, которые «раскрываются» в определенной части тела и высвобождают препарат.

На данный момент существует несколько способов раскрытия таких оболочек, один из которых — разрушение их с помощью протеолитических ферментов. Это возможно в том случае, когда оболочка микрокапсул состоит из полиэлектролитов,

¹⁵ <https://www.sciencedaily.com/releases.../2020/200220101110.htm>

¹⁶ <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsnano.9b07781>

способных к биодegradации. Однако этот способ не подходит для веществ белковой природы, которые также могут быть повреждены. Другой способ разрушения связан с встраиванием в оболочку магнитных частиц, которые разгоняются при помощи ультразвука или микроволн, и происходит микровзрыв. Однако при таком способе наблюдается локальное повышение температуры, что может разрушить действующее вещество.

Чтобы решить эту проблему, исследователи из Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН вместе с коллегами из Института биохимии и физиологии микроорганизмов РАН предложили использовать споры бактерий, заключенные в микрокапсулу совместно с биологически активными веществами, для разрушения оболочки капсул. Такие инкапсулированные споры, попадая в благоприятную среду, прорастают и разрушают оболочку капсулы, не влияя на действующее вещество.

После прорастания спор из оболочки в ней появляются достаточно большие поры, через которые действующее вещество свободно выходит. Эта технология, по словам исследователей, позволяет создать средство доставки биологически активных веществ в пищеварительную систему с их контролируемым высвобождением в необходимом органе¹⁷.

➤ **Новое лекарственное покрытие для медицинских имплантов**

Ученые Пензенского государственного университета разработали новое лекарственное покрытие для медицинских имплантов, которое оказывает антибактериальное действие и препятствует развитию инфекционных осложнений после операций.

Основная идея открытия - это создание лекарственного покрытия, которое можно наносить на синтетические и даже биологические материалы, используемые для изготовления имплантируемых медицинских изделий. После операции это покрытие должно высвобождать лекарственный препарат и подавлять рост патогенной микрофлоры в месте имплантации. Это необходимо в случаях, если есть риск возникновения послеоперационных осложнений, в том числе инфекционных.

Особенность разработки пензенских ученых в том, что покрытие создано на основе комбинации полимера и нескольких лекарственных препаратов - антибиотиков и антисептиков, которые оказывают локальное воздействие. Доза антибиотика достаточно небольшая, но при этом она эффективна против микроорганизмов.

Разработчики протестировали несколько комбинаций лекарственных препаратов, эксперименты проводились как "в пробирке", так и на животных. Ряд комбинаций показали наличие антибактериального эффекта на протяжении периода до двух месяцев. В настоящее время разработчики ведут поиск партнеров в среде производителей медицинских изделий, чтобы усовершенствовать свою разработку¹⁸.

➤ **Биосенсоры для диагностики рака на ранних стадиях**

¹⁷ <https://www.mdpi.com/2079-4991/10/1/12>

¹⁸ <https://nirs.pnzgu.ru/>

Графен - это популярный, недорогой материал для электронных датчиков. Однако разработанные до сих пор датчики нуклеиновых кислот требуют амплификации - выделения фрагмента ДНК или РНК и многократного копирования его в пробирке.

Сотрудники Иллинойского университета в Урбане-Шампейне впервые создали биосенсоры на основе графена, которые способны обнаруживать ДНК раковых клеток в крови пациента. Новый датчик может обнаруживать сверхнизкие концентрации молекул, которые являются маркерами заболевания, что важно для ранней диагностики рака. Он очень чувствителен, недорог, прост в использовании, и по-новому использует свойства графена.

Авторы работы решили увеличить детектирующую способность графена до такой степени, чтобы с помощью него можно было проводить анализ без предварительной амплификации ДНК. Однако, вместо того, чтобы использовать традиционные способы модификации поверхности этого материала, которые ученые использовали ранее для улучшения его электронных свойств, исследователи создали тонкий лист пластика, растянули его, положили графен, а затем сняли напряжение с пластикового листа. После ученые проверили способность нового датчика воспринимать ДНК и связанную с раком микроРНК как в буферном растворе, так и в неразбавленной сыворотке крови человека и увидели, что его производительность улучшилась в десятки тысяч раз по сравнению с плоским графеном. По словам авторов, им удалось получить самую высокую чувствительность, когда-либо полученную при электрическом обнаружении биомолекул¹⁹.

➤ **Новый материал схожий с человеческой кожей**

Сегодня при проведении медицинских операций используется множество искусственных материалов, среди которых титановые и силиконовые имплантаты. Но у всех них есть проблемы, связанные с биосовместимостью и возможностью передачи инфекции. Поэтому в последнее время ученые стараются разработать материалы, сходные по структуре и составу с человеческими тканями.

В новом исследовании ученые из Технического университета Чалмерса представили похожий по структуре и свойствам на человеческую кожу новый материал на основе эластомеров. Первоначально авторы планировали получить костеподобный материал, но были удивлены, когда образец оказался мягким и растяжимым. Этого удалось добиться благодаря наноструктурированию поверхности, на которой образуются поры определенного размера. Такая модификация открыла для нового материала путь к множеству применений. На данный момент ученые рассматривают использование его в качестве основы для мочевых катетеров, так как он может эффективно подавлять рост бактерий на своей поверхности.

Также созданное учеными соединение может быть использовано для 3D-печати структур различной формы, которые могут быть использованы в операциях по восстановлению частей тела пациентов. Еще одним преимуществом материала является то, что он содержит трехмерно упорядоченные нанопоры. Это значит, что в них можно

¹⁹ <https://dx.doi.org/10.1038/s41467-020-15330-9>

внедрить различные лекарства и делать их адресную доставку в ткани организма. Теперь исследователи планируют внедрить разработку в промышленное производство ²⁰.

²⁰ <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsnano.9b01924>



Раздел «Аддитивные технологии»

➤ **Экономичный способ производства металлических порошков для 3D-печати деталей самолетов**

Использование 3D-печати в аэрокосмической отрасли — уже сложившийся тренд. Мировые промышленные гиганты, такие как Airbus, Boeing, General Electric, перешли от печати единичных прототипов и изделий к полноценному серийному аддитивному производству. К примеру, новый самолет Airbus A350 XWB содержит более 1000 различных деталей, изготовленных методом 3D-печати.

Все чаще для изготовления узлов самолетов и космических аппаратов используют интерметаллиды (соединение двух металлов) «титан-алюминий» и «титан-никель». 3D-изделия из них обладают низкой плотностью, повышенными прочностными характеристиками, высокой жаростойкостью и могут иметь сложную геометрическую форму. Для серийного 3D-производства деталей ракет и самолётов необходимы качественные исходные порошки — прекурсоры. Полноценное внедрение металлических аддитивных установок в отечественную промышленность сдерживается главным образом высокой стоимостью сырья, из-за нее производство пока нерентабельно.

Группа учёных НИТУ «МИСиС» разработала высокоэффективный и экономичный способ получения сырья для аддитивной печати — композитных порошков титана/алюминия округлой формы. Новый метод позволит снизить себестоимость материала, что сделает его более доступным для производителя, и расширит возможности создания компактных изделий сложной формы для аэрокосмической промышленности.

Упростить производство порошков для 3D-печати получилось за счет использования уникального сочетания режимов планетарной мельницы, где в процессе интенсивной механической обработки получились композиционные порошки, состоящие из округлых частиц, включающих в себя и титан, и алюминий. Этот «полуфабрикат» можно напрямую загрузить в лазерный 3D-принтер, где прямо в процессе печати при температуре около 650 градусов металлы вступают в реакцию, образуя тугоплавкий интерметаллид.

В настоящее время научная группа завершила оптимизацию составов порошков-прекурсоров и приступила к созданию первых прототипов из полученных порошков²¹.

➤ **Новый способ увеличения плотности сплавов для 3D-печати**

Микроструктура 3D-печатных сплавов зачастую состоит из больших и удлиненных кристаллов, Это делает их практически непригодными для применения в

²¹ <https://link.springer.com/article/10.1007/s11663-019-01553-9>

технике из-за невысоких механических характеристик и повышенной склонности к трещинам во время печати.

В своем исследовании ученые из Мельбурнского королевского технологического университета нашли способ справиться с этой проблемой. Они обработали экспериментальные сплавы ультразвуком и оказалось, что такое воздействие в корне меняет микроструктуру материала: кристаллы становятся очень тонкими и приобретают более правильную форму (формируются одинаково во всех направлениях).

Авторы продемонстрировали свой подход на двух основных применяемых производителями сплавах: титановом Ti-6Al-4V, из которого делают детали летательных аппаратов и биомеханические имплантаты, и никелевом суперсплаве Inconel 625, часто используемом в морской и нефтяной промышленности. Оба образца показали улучшение механических характеристик²².

➤ **Метод повышения прочности 3D-изделий**

Несмотря на скромные габариты и низкую стоимость, средний настольный 3D-принтер имеет весьма приличный производственный потенциал. Годовая производительность аппарата превосходит 100 кг полимерных изделий. Это примерно в 2 раза больше количества производимых фабриками полимерных продуктов на одного жителя планеты ежегодно. Теоретически персональный 3D-принтер может полностью покрыть потребности своего владельца в пластмассовых продуктах

Лабораторией персонального цифрового производства Fab Lab НИТУ «МИСиС» была предложена методика повышения прочности 3D-изделий, основанная на изучении связи между температурными параметрами процесса 3D-печати, структурой и свойствами изделий. Метод открывает реальную перспективу создания «на дому» нужных бытовых предметов, по качеству сопоставимых с фабричными.

Как показало исследование на конкретных кейсах, вне зависимости от геометрии изделия оптимизация температурных параметров процесса дает заметные результаты - прочность деталей по сравнению с обычными, напечатанными по стандартным параметрам возрастает до двух раз.

В настоящее время коллектив продолжает экспериментальные исследования полимерной печати, изучают взаимосвязь геометрии компьютерной модели и прочности готового изделия²³.

➤ **Метод обратимой 4D-печати**

Технология 4D-печати — это, по сути, та же трехмерная печать, при которой создаются материалы с памятью формы и возможностью контролируемого отклика на воздействие. Объекты из таких материалов могут, например, изменять свою форму при

²² <https://www.nature.com/articles/s41467-019-13874-z>

²³ <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-01-2019-0017/full/html?fbclid=IwAR3Kdd2yw8450gmziaXwyMgF15BdTeN6H9aFuqJC27GkyT-o1B1nNPwZCro>

воздействии тепла, излучения определенного диапазона или даже прикосновения человеческой руки.

Всем разработанным ранее материалам требовалось приложение механической силы извне, чтобы вернуть им первоначальную форму. Но теперь сингапурские исследователи разработали технологию обратимой 4D-печати, которая позволяет создавать объекты, изменяющие форму только под действием «нечеловеческих факторов», таких как облучение, изменение температуры или атмосферного давления. Вместо обычно используемого в экспериментах по 4D-печати гидрогеля, ученые применили два материала под названиями VeroWhitePlus и TangoBlackPlus. В отличие от гидрогеля, они более доступны, совместимы и имеют сравнительно высокую механическую прочность ²⁴.

²⁴ https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809919308306?via%3Dihub&fbclid=IwAR20P4yMC1j-eCdwY95tROwphA_WuN5a-8VSNc5p048H1su1VTyDYK_hXdw



Раздел «Технологии для повышения качества жизни»

➤ **Новый способ снижения уровня железа в питьевой воде**

Повышенное содержание железа в питьевой воде может нанести значительный вред здоровью. Оно нередко становится причиной развития дерматита и других аллергических реакций, заболеваний печени и почек. Также повышенное содержание железа в воде — одна из основных причин так называемого биообрастания водопроводных труб. Источником слизи, образующейся на соединительных и стыковых элементах трубопровода, являются железобактерии. С течением времени такой процесс приводит к коррозии и повреждению водопроводной системы.

Ученые из НИТУ «МИСиС», Университета Лимерика (Ирландия) и Белорусского национального технического университета представили инновационный, экологичный и малозатратный способ получения фильтрующих материалов для снижения уровня железа в питьевой воде. В основе разработки — особая модификация угля, которая позволяет более чем в 3 раза эффективнее связывать железо в составе грунтовых вод, поступающих в систему водоснабжения. Коллектив исследователей предложил инновационный способ получения каталитического наполнителя для снижения уровня железа на станциях водоснабжения. В основе изобретения — модифицированный активированный уголь. Он способствует быстрому окислению железа и последующему улавливанию оксидного осадка в процессе фильтрации подземных вод, обеспечивающий остаточное содержание железа общего уже в первых порциях отфильтрованной воды на уровне 0,1 мг/л. Для создания действующего вещества фильтра, гранулы активированного угля были предварительно пропитаны раствором, содержащим нитрат железа и органический восстановитель. Затем их поместили в муфельную печь для запуска экзотермической реакции, в результате которой на поверхности гранул в течение пару минут образовалась каталитическая пленка. Дифракционный и спектроскопический анализ полученных образцов показали, что на поверхности гранул образовалась наноструктурированная кристаллическая структура, которая дополнительно на 15–20% увеличила удельную поверхность угольных гранул.

Эффективность полученных материалов была испытана в опытно-промышленных условиях. Полученная структура фильтра позволила увеличить эффективность процесса окисления железа более, чем в 3 раза относительно обычного активированного угля. Как показали исследования, предложенный метод позволил повысить экологичность процесса получения материала, поскольку энергопотребление снизилось в сравнении с аналогом почти в 100 раз, и в 8 раз сократился расход необходимых реагентов²⁵.

➤ **Сенсор помогающий обнаружить утечку водорода**

²⁵ <https://misis.ru/science/achievements/2020-01/6493/>

Водород — перспективный альтернативный источник энергии, но в смеси с кислородом или воздухом он взрывается. Утечки водорода бывают очень опасны, и их не удастся заметить без соответствующего оборудования.

Поэтому нужно детектировать молекулы водорода в газовой смеси. Сейчас это делают с помощью различных способов, в том числе с использованием электронных сенсоров, хотя они являются потенциальным источником искры. Инженеры из России и Чехии обратили свое внимание на оптическое волокно. Это простой и коммерчески доступный материал. При этом можно максимально удалить сенсор от места детектирования, так как оптоволокно легко позволяет передавать информацию на большие расстояния.

Инженеры удалили фрагмент оболочки оптоволокна и покрыли это место тончайшим слоем золота при помощи магнетронного напыления. На поверхности этой «золотой зоны» возникает эффект поверхностного плазмонного резонанса — возбужденного состояния, которое становится источником аналитического сигнала. На золотой пластине из матричного раствора исследователи вырастили металлоорганический каркас, состоящий из молекул цинка и специфических органических соединений. Этот каркас крайне чувствителен к водороду, он буквально захватывает из воздуха молекулы. Чувствительность сенсора такой конструкции сопоставима со стационарным хроматографом, который в десятки раз дороже и требует квалифицированного персонала. Кроме того, сенсор без труда работает в присутствии газов-окислителей (углекислый газ, различные оксиды), которые в большом количестве присутствуют в воздухе и мешают другим датчикам²⁶.

➤ **Новый способ усовершенствования производства дизельного топлива**

На сегодняшний день дизельное топливо является самым востребованным на рынке, но существует ряд проблем, связанных с его подготовкой.

Базовым процессом переработки дизельных фракций является гидроочистка. Однако, в связи с «утяжелением» состава перерабатываемой нефти и нежеланием отказываться от фракций с высоким содержанием серы в качестве сырья для получения дизельного топлива, встает важный вопрос модернизации данного блока.

Студентка Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета Ксения Баклашкина обнаружила новый способ усовершенствования действующего производства дизельного топлива. В своей работе она предлагает добавить процесс предварительной очистки нефтепродуктов от серы с помощью окислительных агентов перед основным промышленным процессом, что позволит сделать готовое топливо более дешевым и экологичным.

По предварительным экономическим оценкам подобная очистка также позволит снизить себестоимость топлива, за счет снижения количества потребляемого водородсодержащего газа и увеличения срока службы катализатора в процессе гидроочистки. На данный момент идет моделирование и создание технологической схемы

²⁶ <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssensors.9b01074>

будущего технологического блока, который в перспективе будет применен на нефтеперерабатывающих заводах ²⁷.

➤ **Способ превращения мусора в графен**

Исследователи из Университета Райса нашли способ превратить любое углеродсодержащее сырье в ценный графен, который затем, к примеру, можно использовать для строительных материалов.

Созданный учеными метод позволяет практически мгновенно получать графен в больших объемах. Для этого ученые нагревают нужную смесь органических отходов до трех тысяч кельвинов за десять миллисекунд. Во время этого процесса образуется очень мало избыточного тепла, так как почти вся энергия расходуется на процесс пиролиза. Во время разработанного процесса кроме целевого материала образуются также различные газы, такие как кислород и азот, которые затем можно улавливать и использовать в производственных целях. Ученые сообщают, что продукту не требуется никакой дополнительной очистки и он может сразу использоваться по своему назначению.

По словам исследователей, самое главное возможное применение вещества — использование его в качестве добавки к конструкционным материалам, таким как бетон. Учитывая, что сегодня цена графена колеблется от 67 до 200 тысяч долларов за тонну, разработка американских ученых может позволить снизить его себестоимость в несколько десятков, а то и сотен раз. Теперь исследователи намерены усовершенствовать свой метод, чтобы производить по килограмму графена в день ²⁸.

➤ **Ультратонкая мембрана для отделения нефти от воды**

Отделение нефти от воды имеет решающее значение для борьбы с разливами и загрязнением воды, которые создаются различными отраслями промышленности. По прогнозам, к 2025 году 2/3 населения мира не будут иметь достаточного доступа к чистой воде. По этой причине, все большее внимание приобретает разработка технологий фильтрации маслянистых эмульсий, которые позволят повысить количество доступной питьевой воды.

По сравнению с традиционными методами очищения воды, включая центрифугирование и коагуляцию, мембранная технология имеет более низкую цену и высокую эффективность. Хотя эта технология уже достаточно развита, но все же большинство мембран быстро загрязняются из-за попадания на их поверхность капель масла. Это приводит к блокированию пор мембраны, что впоследствии снижает ее срок службы и эффективность.

Ученые из Университета Кобе разработали ультратонкую мембрану из устойчивого к загрязнению кремнезема для высокоэффективного отделения нефти от воды. Японским ученым удалось разработать мембрану, состоящую из пористого поликетона с нанесенным на его верхнюю поверхность слоем кремнезема толщиной 10 нанометров. Этот слой кремнезема связывается с поверхностью мембраны с помощью

²⁷ <https://news.tpu.ru/news/2020/01/16/35749/>

²⁸ <https://www.nature.com/articles/s41586-020-1938-0>

электростатического притяжения. Новая мембрана имеет большие поры и высокую пористость, благодаря чему ее технические характеристики не уступают аналогам. Добавление кремнезема на поверхность мембраны дало ей маслоотталкивающие свойства и позволило продлить срок службы изделия. Еще одним преимуществом этой разработки является то, что для хорошего потока воды к ней не нужно прикладывать высокое давление — достаточно даже атмосферного. Кроме того, разработанная мембрана была способна отталкивать 99,9% масляных капель размером от 10 нанометров. В результате проведенных экспериментов ученые выяснили, что их новая мембрана способна эффективно отделять воду от масляных эмульсий, в том числе нефтяных ²⁹.

➤ **Новый вид полимерных мембран для очистки стоков нефтехимических и фармацевтических производств**

В сточные воды нефтехимических производств и фармацевтики попадает большое количество оксигенатов — токсичных органических соединений, содержащих кислород (например, спиртов и простых эфиров). Так, стоки производства бутилового спирта содержат от 15–20 грамм оксигенатов на литр и требуют очистки. С другой стороны, их можно использовать в качестве добавок к моторным топливам: бензин с такой присадкой расходуется медленнее, а при сгорании образует меньше выхлопных газов. Кроме того, эти вещества могут стать органическими растворителями или сырьем для фармацевтических препаратов.

Молодые ученые Института нефтехимического синтеза имени А. В. Топчиева РАН создали в три раза более эффективные и экономичные полимерные мембраны, чтобы выделять оксигенаты. Новый способ выделения оксигенатов из воды основан на первапорации — испарении с помощью специальной мембраны, через которую газообразные спирты и эфиры проникают быстрее, чем вода. Оксигенаты можно будет выделять при температуре менее 60 °С, что не требует много энергии. Кроме того, этот процесс полностью экологичен ³⁰.

➤ **Новая мембрана для топливного элемента**

Российские исследователи впервые создали металлооксидный электролит для водородного топливного элемента с нужным комплексом свойств.

Топливный элемент представляет собой электрохимическую систему, состоящую из протонпроводящей мембраны и двух электродов, которые находятся в контакте с ней. В такой системе мембрана играет роль электролита и проводит протоны — ионы водорода. К электродам, аноду и катоду, постоянно подводятся, соответственно, водород и кислород. В топливном элементе химическая энергия переходит в электрическую, и лишь небольшая часть превращается в тепло.

КПД топливного элемента составляет порядка 70%, что гораздо выше КПД теплоэлектростанций, газовых турбин и двигателей внутреннего сгорания, а выбросы вредных веществ либо имеют нулевые значения, либо меньше в десятки и сотни раз.

²⁹ <https://pubs.rsc.org/.../c.../articlelanding/2019/TA/C9TA07988B...>

³⁰ <https://link.springer.com/artic.../10.1134%2F51070427219110168>

Следующая цель ученых — создать на их основе топливный элемент и рассчитать его эффективность³¹.

➤ **Высококочувствительный сенсор для определения ртути**

Ртуть и ее соединения являются чрезвычайно токсичными и способны вызывать широкий круг заболеваний нервной системы, печени, почек, дыхательных путей и других органов. Соединения ртути способны накапливаться в организме и приводить к серьезным хроническим отравлениям даже при воздействии малых количеств ртути в течение нескольких лет. ВОЗ рассматривает ртуть в качестве одного из десяти основных химических веществ или групп химических веществ, представляющих значительную проблему для общественного здравоохранения. Промышленные предприятия, горнодобывающая промышленность и сжигание горючих ископаемых являются источниками загрязнения природной среды ртутью, кроме того, ртуть содержится в люминесцентных лампах и медицинских термометрах, что при неправильной утилизации может нанести вред.

Одним из наиболее чувствительных методов количественного анализа в химии являются методы, основанные на измерении люминесценции — светимости вещества под воздействием внешнего излучения. Высокая чувствительность люминесцентных методов анализа обуславливает их особую роль при качественном и количественном определении микропримесей в высокочистых веществах, в токсикологии, при анализе фармацевтических препаратов. При этом одними из наиболее перспективных сенсоров, применяемых в данном методе, являются люминесцирующие металлоорганические соединения. Атом металла в составе этих соединений обеспечивает эффективное свечение, а подбор структуры органического фрагмента позволяет добиться высокой чувствительности по отношению к определяемому веществу.

Химики Санкт-Петербургского университета в сотрудничестве с коллегами из Университета ИТМО, Университета Ливерпуля (Великобритания) и Делфтского технического университета (Нидерланды) разработали высококочувствительный сенсор для определения ртути. Разработка ученых открывает доступ к новому классу соединений, которые могут применяться для обнаружения тяжелых металлов в окружающей среде.

В ходе исследования ученые синтезировали шесть новых типов люминесцирующих комплексов иридия с диаминокарбеновыми лигандами и проанализировали отклик их излучения на наличие катионов металлов. Несмотря на то, что все соединения обладают высокоэффективной люминесценцией, излучение только одного типа комплексов исчезает при добавлении соединений ртути. Это позволяет использовать данный комплекс в качестве высококочувствительного сенсора на ртуть — предел обнаружения токсина составляет 0,04 мг/л, что на порядок больше ПДК ртути в рыбе и морепродуктах. На обнаружение ртути не влияет присутствие соединений других тяжелых металлов: меди, цинка, свинца, кадмия, серебра и других. Разработанная методика, основанная на оптическом детектировании, позволяет в течение всего нескольких минут в лабораторных

³¹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S12>

условиях получить информацию о наличии и концентрации соединений ртути в жидкостях³².

➤ **Аэрогели из использованных автомобильных шин**

Ежегодно во всем мире выбрасывается около миллиарда шин. Резиновые шины отличаются высокой прочностью и не поддаются биологическому разложению. Только 40% из них перерабатываются в продукты с низкой добавленной стоимостью, 49% сжигаются для производства энергии, а по меньшей мере 11% оказываются на свалках. Однако свалки занимают место, которое рано или поздно закончится, и кроме того, существует риск последующего выщелачивания материала, влекущего к загрязнению окружающей среды.

Группа исследователей из Национального университета Сингапура смогла создать из отработанных шин аэрогели - сверхлегкие материалы, которые более чем на 90% состоят из воздуха и при этом имеют достаточно высокую прочность. Некоторые виды аэрогелей зачастую стоят очень дорого, но использование резины в качестве сырья для их производства существенно снижает конечную стоимость продукта.

Чтобы создать аэрогели исследователи сначала разделили материал шин на более тонкие волокна. Затем их замачивали в специальном растворе с добавлением небольшого количества кросслинкеров - веществ, способных «сшивать» разные цепи полимеров. Далее смесь резиновых волокон с экологически чистыми растворителями равномерно диспергировали. Потом такой гель охлаждали и высушивали при температуре -50 °С в течение 12 часов.

Таким образом получались аэрогели, которые по своим характеристикам не уступали создаваемым сегодня материалам этого класса. При этом цена одного листа такого материала площадью в квадратный метр и толщиной в сантиметр составила около 10 сингапурских долларов (примерно 540 рублей). Кроме того, по словам ученых, такой процесс можно легко масштабировать и использовать для коммерческого производства³³.

³² <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.inorgchem.9b?fbclid=IwAR1Gf0RSZtpDyF3bEYFMCuvSsLNzF41KZz54j6K7yQK1rbHS PwuL2De9z4>

³³ https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927775719305497?via%3Dihub&fbclid=IwAR2eXdEd9jZ6uCfTbZDZ yxImI4QnudsEh_e5p28T-4C8uX73VIDu-gDnDlq



Раздел «Энергетика»

➤ Самая эффективная в мире литий-серная батарея

Исследователи из Университета Монаш находятся на пороге коммерциализации самой эффективной в мире литиево-серной (Li-S) батареи, которая может превзойти нынешних лидеров рынка более чем в четыре раза. Батарея сможет держать заряд телефона в течение пяти дней подряд или, к примеру, позволит электромобилю проехать более 1000 км без необходимости «заправки».

На сегодняшний день исследователи имеют одобренный патент (PCT / AU 2019/051239) для производственного процесса, и батареи-прототипы, которые были успешно изготовлены немецким партнером по исследованиям и разработкам Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology.

Используя те же материалы, что и в стандартных литий-ионных батареях, исследователи перенастроили конструкцию серных катодов, чтобы они могли выдерживать более высокие нагрузки без снижения общей емкости³⁴.

➤ Новый способ получения термоэлектриков

Ученые НИТУ «МИСиС» разработали сверхбыстрый способ получения термоэлектрического материала, способного напрямую преобразовывать тепло в электричество. Используемый в работе метод открывает перспективы промышленного получения порошков термоэлектрических материалов и создания на их основе устройств, которые, например, могут одновременно заряжать гаджеты и обогревать помещения.

Ученые давно и активно исследуют термоэлектрические материалы на основе сложных оксидов металлов, в частности соединения на основе висмута, меди и селена. Они показывают хорошие характеристики эффективности в качестве преобразователя энергии, при этом стабильны к воздействию высоких температур и не подвержены окислению, а значит, способны работать надежно и долго.

Разумеется, имеется и существенный минус – материал сложно получить, классическим методом, так называемым твердофазным синтезом. Смесь необходимых исходных компонентов запаивают в герметичной кварцевой ампуле и помещают в печь, где компоненты спекаются в течение нескольких дней при температурах 300–700 °С до получения готового термоэлектрического материала. Однако затраченные при такой процедуре ресурсы делают способ нерентабельным для промышленного применения. Ученые в процессе серии экспериментов нашли альтернативу – это механическое сплавление в высокоэнергетической планетарной мельнице – распространенном приборе для тонкого измельчения материалов, аналоги которого есть на современных производствах.

³⁴ <https://advances.sciencemag.org/content/6/1/eaay2757>

Ученым удалось найти оптимальное сочетание режимов скорости и времени механического сплавления, которое позволило получить порошок BiCuSeO в рекордно короткий срок – порядка 60 минут, при том, что все мировые аналоги подобных экспериментов в лучшем случае позволяли осуществить синтез за 7–13 часов.

В настоящее время коллектив ведет работы по адаптации технологии под конкретные производства³⁵.

➤ **Высокоэффективные солнечные батареи**

Сегодня ученые все больше внимания уделяют развитию альтернативной энергетики и так называемых "зеленых технологий". Одна из самых популярных среди них — солнечная энергетика. Однако более широкому использованию солнечных батарей препятствует ряд проблем. Ставшие традиционными кремниевые солнечные батареи имеют сравнительно небольшую эффективность — около 20-25 процентов. Более эффективные технологии требуют заметно более сложных полупроводниковых соединений, что значительно повышает цену самих солнечных элементов.

Исследователи из Университета ИТМО, Академического университета им. Ж.И. Алферова и Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе показали, что полупроводниковые A3B5 структуры — материалы, состоящие из элементов III и V групп Периодической системы можно вырастить на дешевой кремниевой подложке, что позволит существенно сократить стоимость многокаскадного солнечного элемента. Появление подобной технологии некогда было предсказано нобелевским лауреатом Жоресом Ивановичем Алферовым.

Главная сложность синтеза полупроводниковых соединений на кремниевой подложке состоит в том, что полупроводник должен обладать таким же параметром кристаллической решетки, как у кремния. К сожалению, полупроводников, отвечающих этому требованию, немного. К примеру — фосфид галлия (GaP). Однако сам он не очень подходит для создания солнечных элементов, так как плохо поглощает солнечный свет. Но вот если взять фосфид галлия и добавить азот, мы получим раствор GaPN . Уже при малых концентрациях азота данный материал становится прямозонным и хорошо поглощает свет и может быть интегрирован на кремниевую подложку.

Пока в лаборатории был создан первый небольшой прототип солнечной батареи на основе элементов A3B5 на кремниевой подложке. Сейчас перед учеными стоит задача создать элементы, имеющие в своем составе несколько фотоактивных слоев³⁶.

➤ **Устройство для получения энергии от движения жидкости**

Исследователи из Нагойского университета и Университета Кюсю разработали устройство, которое генерирует электрический ток напряжением в пять вольт от движения капли жидкости.

³⁵ <https://www.sciencedirect.com/.../abs/pii/S0167577X19318166...>

³⁶ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S09..>

Ранее исследователи уже выяснили, что графеновый лист может генерировать электричество от движения жидкости по его поверхности. Однако его выходное напряжение было на уровне 0,1 вольта — что недостаточно для питания электроники. Между тем, такие генераторы электроэнергии могут быть установлены, например, в заводских трубах или микрофлюидных устройствах.

Теперь японские исследователи усовершенствовали эту технологию, создав пленки из дисульфида молибдена (MoS₂). Это позволило повысить значение выходного напряжения до пяти вольт. Чтобы получить такую пленку, исследователи применили метод химического осаждения серы из газовой фазы на сапфировой подложке, содержащей триоксид молибдена (MoO₃). Новый генератор оказался достаточно гибким, благодаря чему его можно устанавливать на изогнутой внутренней поверхности различной техники. Авторы работы считают, что он будет перспективен для питания устройств, которые эксплуатируются в водных средах, таких как автономные датчики дождя и датчики качества воды, которые могут генерировать энергию из промышленных сточных вод при ее мониторинге ³⁷.

➤ «Невозможное» сверхпроводящее соединение

Ученые постоянно ищут новые сверхпроводниковые соединения, у которых при охлаждении до определенной температуры полностью пропадает электрическое сопротивление. За счет этого подобные вещества способны передавать электричество без потерь, что делает их очень перспективными материалами для энергосетей.

Главными кандидатами на роль сверхпроводников являются водородные соединения — гидриды. Однако существует проблема, которую ученые все еще не смогли решить — это температура, при которой вещества становятся сверхпроводниками. Для большинства соединений она очень низкая, поэтому применяемые на практике сверхпроводники обычно охлаждают жидким гелием, при этом нужно использовать дорогое и сложное оборудование. Физики пытаются найти вещество, являющееся сверхпроводником при комнатной температуре. Один из кандидатов — металлический водород, но его создание требует огромных давлений свыше 4 миллионов атмосфер.

Российские ученые из Сколковского института науки и технологий Дмитрий Семенов и Артем Оганов вместе с китайскими коллегами из Цзилиньского университета создали несколько соединений водорода с празеодимом — металлом из группы лантаноидов — и изучили их физические свойства. Соединения отличаются друг от друга соотношением атомов двух этих элементов.

Ученые сжимали в специальной камере образцы, состоящие из металлического празеодима и водорода, между двумя конусообразными алмазами до 40 ГПа и нагревали с помощью лазера. При таком давлении вещества вступали в реакцию, образуя соединение PrH₃. Однако в таких экспериментах алмазы часто становятся хрупкими из-за контакта с водородом и разрушаются. Поэтому ученые заменили чистый водород бораном аммония — соединением, содержащим большое количество водорода, который выделяется при нагревании и вступает в реакцию с празеодимом. Ранее таким же способом ученые

³⁷ <https://www.sciencedirect.com/.../arti.../pii/S2211285519310845...>

синтезировали соединения водорода с лантаном — металлом из той же группы редкоземельных элементов.

Такой способ и в данном случае оказался эффективным. Повысив давление, исследователи получили вещество RtH_9 . Интересно оно тем, что с точки зрения классической химии такое соединение не может существовать, оно "запрещено", как говорят ученые. Формально электронное строение атома празеодима не позволяет ему образовывать такое большое количество связей с другими атомами. Однако существование подобных "неправильных" соединений было предсказано сложными квантовыми расчетами и теперь подтвердилось экспериментально.

Изучив физические свойства нового вещества, ученые выяснили, что гидрид празеодима переходит в состояние сверхпроводника при температуре -264 градуса Цельсия, что ниже температуры сверхпроводимости гидрида лантана LaH_{10} , полученного авторами ранее. Ученые объясняют это положением металла в таблице Менделеева. Оказалось, что атомы празеодима не просто являются донорами электронов: в отличие от своих соседей лантана и церия, они несут небольшие магнитные моменты, которые подавляют сверхпроводимость, а потому температура ее появления падает.

Ученые планируют использовать полученную информацию при синтезе новых высокотемпературных сверхпроводников³⁸.

➤ «Самозаряжающийся» аккумулятор

Сегодня одной из основных проблем в индустрии устройств хранения энергии является потеря их заряда со временем и падение емкости. Это происходит за счет деградации электролита и постепенного выделения энергии в виде тепла в окружающую среду.

Исследователям из Университета Порту и Техасского университета в Остине, среди которых и лауреат Нобелевской премии 2019 года Джон Гуденаф, удалось создать такое устройство, которое благодаря самозацикливанию практически не теряет энергии с течением времени. Этот аккумулятор состоит из двух электродов — алюминиевого и медного — и литиевого или натриевого стеклянного сегнетоэлектрического электролита между ними.

По словам авторов, их электролит может локально изменять свой состав и формировать конденсаторы, которые могут хранить энергию и выравнивать уровни Ферми в устройстве.

Эта работа важна, потому что она объединяет теорию всех твердотельных устройств, таких как батареи, конденсаторы, фотовольтаика и транзисторы, в которых различные материалы в контакте друг с другом проявляют свойства объединенного материала, а не отдельных веществ.

Эти батареи можно использовать для коммуникаций на низких частотах и в таких приборах, как проблесковые маячки, источники звукового сигнала, осцилляторы, инверторы, импульсные источники питания и цифровые преобразователи, а также для

³⁸ <https://advances.sciencemag.org/content/6/9/eaax6849>

применения в современных компьютерных системах. Также разработка позволит повысить автономность существующих устройств хранения энергии ³⁹.

³⁹ <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5132841>



Раздел «Электроника будущего»

➤ Новые эфиры для добычи редкоземельных металлов

Ученые кафедры химической технологии пластических масс и кафедры технологии редких элементов и наноматериалов Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева синтезировали серию имидофосфорных эфиров с различными структурными параметрами.

Такие эфиры можно использовать для экстракции редкоземельных металлов (РЗМ) из водных растворов. Редкоземельные металлы важны при производстве современной электроники, магнитов, лазерной техники. Но их природные запасы ограничены, а в процессе переработки редкоземельных металлических руд, образуется много сточных вод, содержащих РЗМ. Технология экстракции редкоземельных металлов из водных растворов позволяет восполнять их ресурсы.

В промышленности для экстракции РЗМ используется полиалкилфосфонитриловая кислота. В проведенном исследовании ученые показали, что применение новых имидофосфорных эфиров вместо полиалкилфосфонитриловой кислоты повышает эффективность процесса экстракции металлов ⁴⁰.

➤ Новый метод создания микророботов

Большинство синтетических материалов, в том числе составляющих основу электродов аккумуляторных батарей, полимерных мембран и катализаторов, со временем деградируют, поскольку они не имеют внутренних механизмов для «ремонта» возникающих со временем дефектов. Помочь это исправить могут микророботы, вовремя обнаруживающие поломку и «залечивающие» ее.

В новой работе исследователи из Колумбийского университета создали микромашину, которая бы имитировала поведение бактерий, движущихся в определенном направлении на химический или физический сигнал, например изменение концентрации одного из соединений в среде. Ранее для этой цели ученые использовали небольшие частицы, приводимые в движение химическим топливом или другими видами энергии. Такие пространственные изменения в окружающей среде (например, в концентрации) могут действовать так, чтобы физически ориентировать частицу и тем самым управлять ее движением. Но этот тип управления частицами имеет серьезные ограничения и не позволяет выполнять задачи.

Ученые придумали новый подход к кодированию автономной навигации микророботов, который основан на изменяющих форму материалах. Контролируя форму частицы и ее реакцию на изменения окружающей среды, исследователи выяснили, как

⁴⁰ <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/4/1229/htm>

сконструировать микророботов для отклика на различные стимулы. Причем необходимая интенсивность таких стимулов оказалась значительно меньше, чем при использовании стандартного метода управления ⁴¹.

➤ Гибкие наносенсоры для экранов

Современный прозрачный тонкопленочный материал, который используется в сенсорных экранах, создается очень медленно и требует много энергии, поэтому исследователи со всего мира ищут способы создания более дешевых и простых в изготовлении материалов для экранов.

Ученые из Мельбурнского королевского технологического университета придумали, как сделать экраны в 100 раз тоньше, упростив их производство и снизив себестоимость. Для этого авторы работы использовали метод печати жидким металлом. Они взяли за основу сплав индия и олова, который плавится при низкой температуре в 200°C. Растопив сплав, исследователи смогли распечатать из него тончайшие листы, которые обладают отличающимися от основного материала свойствами. Так, нанолиты способны поглощать всего 0,7% света — это примерно в 10 раз меньше, чем у существующих материалов. Значит, новые элементы экранов более прозрачны и позволят использовать меньшую интенсивность света в экранах, что снизит энергозатраты. Кроме того, материал хорошо проводит электричество, а это важно для его использования в качестве сенсора.

Благодаря своей толщине, такие пленки могут легко гнуться, не повреждаясь. До сих пор такая технология считалась невозможной, но ученым удалось ее осуществить. Они утверждают, что это единственный известный способ создать гибкие, прозрачные и проводящие элементы для экранов такой толщины. Авторы работы уже смогли изготовить экран с применением данного материала и продемонстрировали его работоспособность. Теперь ученые подали заявку на патент ⁴².

➤ Технология производства квантовых ячеек памяти

Сейчас есть несколько разных типов кубитов, которые специалисты создают на базе сверхпроводников, одиночных атомов или ионов, охлажденных до сверхнизких температур, а также различных полупроводниковых конструкций. В "квантовой гонке" по созданию все более сложных компьютеров пока лидируют первые три типа ячеек памяти, так как их работой удобнее управлять, а сами кубиты такого типа меньше ошибаются при вычислениях.

Полупроводниковые кубиты не так удобны в работе, однако они, как предполагают теоретики, будут лучше подходить для того, чтобы создавать сложные вычислительные машины, которые объединяют в себе тысячи или даже миллионы квантовых ячеек памяти. За последние годы физики достигли существенного прогресса в их разработке, научившись управлять так называемыми NV-центрами.

⁴¹ <https://journals.aps.org/.../abstract/10.1103/PhysRevResearch>

⁴² <https://www.nature.com/articles/s41928-019-0353-8>

NV-центрами исследователи называют особые дефекты, атомы азота или других элементов, которые "затесались" в толщу полупроводникового материала – обычно это алмазы и различные соединения углерода. Появление чужеродных включений внутри них создает особое пустое место с необычными свойствами, подобными тому, как если бы там находился атом углерода в "замороженном" состоянии. По сравнению с другими типами квантовых ячеек памяти, NV-кубит существуют довольно долго, однако их поведением и скоростью обновления достаточно сложно управлять. Другой их недостаток заключается в том, что для того, чтобы они могли надежно исполнять квантовые логические операции, почти все варианты подобных кубитов, за исключением NV-центров в алмазах, нужно охлаждать до сверхнизких температур.

Физики НИТУ "МИСиС" обнаружили, что эту проблему можно обойти, если встроить внутрь карбида кремния или других дешевых полупроводников особую структуру, которую физики называют "квантовой ямой". Так ученые называют область пространства, в которой движением и состоянием частиц управляют законы квантовой физики.

Подобную яму, как выяснили ученые, можно создать рядом с NV-центром, убрав или сместив один из слоев карбида кремния, рядом с которыми находится этот дефект. В таком случае кубит стабилизируется и не теряет своих свойств, если пытаться с ним работать при комнатных температурах. Свое теоретическое предсказание физики проверили, "накачивая" лазером дефекты в листе из карбида кремния и изучая их структуру при помощи рентгеновского кристаллографа.

Это открытие может сделать полупроводниковые кубиты значительно дешевле и позволит вычислительным приборам на их основе обходиться без громоздких и дорогостоящих систем охлаждения⁴³.

➤ Новые материалы для резистивной памяти

Работы по созданию энергонезависимой резистивной памяти активно ведутся во всем мире, так как ее характеристики существенно выше, чем у применяемой сегодня флэш-памяти. До сих пор для создания таких устройств использовались оксидные материалы, например оксид тантала. Только недавно ученые начали проявлять повышенный интерес к оксиду и нитриду кремния, эти соединения традиционно используются для изготовления микро- и наноэлектроники и не потребуют существенного изменения технологических процессов, в отличие от оксидов металлов.

В новом исследовании ученые из Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, НГУ, НГТУ и Национального университета Чао Тунг смогли получить материалы для мемристоров из нестехиометрического нитрида кремния SiN_x двумя разными методами. Первый называется физическим осаждением из газовой фазы (PVD). Изготовленный по такой технологии материал обладает лучшими характеристиками, чем созданный по второй методике - с помощью плазменно-химического осаждения из газовой фазы (PECVD). Первая технология не является традиционной для производства интегральных микросхем и применялась впервые для синтеза нитрида кремния, однако

⁴³ <https://www.nature.com/articles/s41467-019-13495-6>

изготовленный по ней микрочип показал в 100 раз большее время хранения информации. Такой эффект исследователи объясняют наличием большего числа дефектов ⁴⁴.

⁴⁴ <https://www.nature.com/articles/s41598-020-59838-y>



Раздел «Материалы и технологии для строительства»

➤ **Бетон для заливки при отрицательных температурах**

Заливать бетон при отрицательных температурах крайне сложно. В составе этого строительного материала содержится вода, которая может замерзнуть, в результате чего образуются камни, сильно снижающие прочность изделия. Заливка при температуре ниже 5°C делается исключительно с применением специальной методики, нарушение которой сильно снижает эксплуатационные характеристики строения.

Исследователи из Дальневосточного федерального университета и Российского университета дружбы народов придумали такой состав бетона, который не требует применения особых методов даже при заливке в отрицательных температурах. Он поможет сохранить прочность и долговечность бетонных конструкций, возводимых на холоде, без удорожания технологического процесса. Добиться этого исследователям удалось с помощью внедрения в состав гиперпластификаторов и наночастиц диоксида кремния, которые увеличивают прочность материала. Также новая бетонная смесь содержит меньше цемента, его заменили на отходы энергетических производств и отсеvy дробления песка, что делает бетон более экологичным. Измерив технологические свойства нового состава, исследователи пришли к выводу, что они соответствуют цементу высоких марок, но применение разработки российских ученых оказывается более выгодным.

Чтобы рассчитать необходимые пропорции, ученые провели ряд экспериментов, данные которых затем уточнили с помощью математических моделей. Благодаря выверенному составу смеси авторам удалось повысить морозостойкость бетона и решить проблему его повышенной текучести, которая в условиях низких температур становится причиной комкования бетона и снижения прочности после отверждения. Также ученые снизили количество воды в смеси на 40%, что позволило увеличить прочность и плотность материала.

На следующем этапе исследований ученые планируют разработать бетонную смесь для заливки в условиях отрицательных температур до -15 °C ⁴⁵.

➤ **«Живой» строительный материал с удивительными свойствами**

Сотрудники лаборатории Уила Шрубара из Колорадского университета в Боулдере разрабатывали весьма необычную альтернативу классическим строительным материалам. Решив объединить полезные свойства живого и неживого, они поселили колонии цианобактерий в раствор из песка и гидрогеля (он удерживал воду и питательные вещества для крошечных "строителей").

⁴⁵ <https://www.sciencedirect.com/abs/pii/S0950061819329794>

Микроорганизмы активно размножались и производили карбонат кальция, а он в свою очередь цементировал песок и гидрогель, превращая их в очень прочную массу. Далее из полученной смеси исследователи изготовили небольшие кирпичи. Получившийся после высыхания материал не уступал по прочности обычному цементу.

При дальнейшем исследовании инженеры выяснили, что это ещё не все достоинства созданного ими гибрида. Оказалось, что кирпичи способны размножаться. Такое необычное качество строительного материала авторы обнаружили, разделив полученный кирпич пополам. Учёные добавили к каждой половинке ещё немного песка, гидрогеля и питательных веществ. Цианобактериям этого оказалось вполне достаточно, чтобы превратить обломки в два полноразмерных кирпича ⁴⁶.

⁴⁶ [https://www.cell.com/matter/fulltext/S2590-2385\(19\)30391-1](https://www.cell.com/matter/fulltext/S2590-2385(19)30391-1)