

Наноиндустрия: вчера, сегодня, завтра

Академик Олег Фиговский, Израиль

Наноиндустрия - отрасль промышленности, занятая производством наноматериалов, наноструктур, наноустройств и других видов продукции, в которых определяющим их эксплуатационные показатели является применение нанотехнологий. Нанотехнологии позволяют управлять процессами наноиндустрии и использовать его уникальные свойства. Это перспективное направление науки, которое становится основой для развития новых технологий.

Например, с помощью углеродных нанотрубок ученые видоизменяют клетки и их свойства, используют нанотрубки как капсулы для транспортировки лекарств, создают компоненты для наноэлектроники и фотоники. А еще немного нанотрубок в составе бетона делает материал прочнее. Ядерные виды оружия – комплексы средств, включающие сложные системы управления, хранения, обеспечения безопасности, приведения в боевую готовность и даже уничтожения при некоторых обстоятельствах. В США функционирование этих систем регулируется обширным комплексом правил, процедур и средств, обычно обозначаемых аббревиатурой PAL (Permissive Action Links), которые включают множество датчиков, механических блокирующих устройств, электрических и электронных схем и т.п. Микросистемная техника позволяет существенно уменьшить размеры и вес многих входящих PAL систем, а также более простых устройств контроля за безопасностью, хранением и приведением в боевую готовность различных типов обычных вооружений. Развитие нанотехнологий приводит к дальнейшей миниатюризации используемого в этих целях оборудования и повышению надежности системы в целом за счет развития новых типов датчиков и их интеграции с разнообразными механическими, оптическими и электронными блокирующими устройствами.

В России создана государственная компания «Роснано», реализующая государственную политику по развитию наноиндустрии, выступая соинвестором в нанотехнологических проектах. Недавно «Роснано» сообщило, что не сможет до конца года погасить долги за счет собственных средств. Его чистый долг составляет 95 млрд руб. Оно испытывает подобные проблемы уже несколько лет. Путин говорил о «финансовой дыре» в этой компании. Сложившаяся ситуация может быть связана с отсутствием грамотной инвестиционной стратегии и высокой долей операционных расходов, рассказала "РГ" доктор экономических наук, профессор кафедры Мировой экономики и международных экономических отношений Государственного университета управления (ГУУ) Галина Сорокина. Бывший эксперт Роснано академик Олег Фиговский ранее писал, что у него к "Роснано" вообще много вопросов: это большая организация, в ней сейчас около 400 штатных сотрудников. Они недавно отчитались о своих "грандиозных" успехах - запустили по разным данным от 8 до 13 реальных нанотехнологических производств. В Израиле также есть своего рода аналог "Роснано". И существует примерно столько же времени, сколько и российская госкорпорация. В ней работает полтора человека - исполнительный директор на полставки и инженер-координатор на полную ставку. Их зарплаты существенно ниже, чем в "Роснано". За тот же период они пустили порядка 30 новых нанотехнологических производств - как говорится, сравните эффективность.

Как пишет эксперт РАН В.Е. Дементьев в своей статье: политика России в сфере нанотехнологий сопоставляется с политикой США, ЕС и Китая. Показано влияние промышленной структуры на финансирование исследований и разработок. В условиях обостряющегося соперничества за лидерство на перспективных направлениях роста мирового рынка России важно определить, что может обеспечить ей успешное участие в этом соперничестве, позволит претендовать на получение в перспективе технологической ренты. Требуется не просто большая активность в сфере исследований и разработок (ИиР), но и действия, адекватные усилиям конкурентов, направленным на подготовку к грядущей технологической революции. Ее во многом связывают с широким использованием нанотехнологий. Несмотря на предпринимаемые Россией в последние годы меры в сфере нанотехнологий, прогнозные исследования отводят стране довольно скромное место на будущей технологической карте мира. Корпорацией RAND были выделены 16 прикладных направлений грядущей технологической революции, соответствующей подъему шестой длинной волны технологического развития.

Проведенный анализ показал, что наибольшие шансы добиться успеха по всем 16 прикладным направлениям имеют лишь 7 из 29 рассмотренных RAND стран. Это США, Канада, Германия, Южная Корея, Япония, Австралия, Израиль. В исследовании RAND обращает на себя внимание наиболее скептическая оценка перспективы России (в группе стран, к которым она отнесена). Ожидается, что Китай и Индия сделают шаг к сближению с лидерами. России же грозит примыкание к группе менее развитых в технологическом отношении стран (Бразилия, Чили, Мексика и Турция). Несмотря на предпринимаемые в последние годы меры, остается во многом открытым вопрос о том, за счет чего Россия будет претендовать на первые, а не на вторые роли в нано-эру. В условиях мирового экономического кризиса этот вопрос приобретает особую остроту, поскольку кризис – это и угроза растраты необходимых для радикального обновления производства ресурсов, и возможность форсированно подготовиться к очередной длинной волне технологического развития.

«Национальная нанотехнологическая инициатива» США, выдвинутая еще в 2000 г. президентом Б. Клинтонем. Эта инициатива призвана обеспечить США мировое лидерство в военной и экономической областях на многие десятилетия. Национальная нанотехнологическая инициатива (ННИ) представляет собой стратегический план, в котором отражается консенсус участвующих агентств относительно целей и приоритетов действий в нанотехнологической сфере. Национальная инициатива в области нанотехнологий - это комплексная федеральная правительственная программа науки, инженерии и технологий исследований и разработок для наноразмерных проектов. «NNI служит центром коммуникации, сотрудничества и взаимодействия для всех федеральных агентств, занимающихся исследованиями в области нанотехнологий, объединяя опыт, необходимый для развития этой широкой и сложной области». Участники инициативы заявляют, что ее четыре цели:

продвижение программы исследований и разработок в области нанотехнологий (НИОКР) мирового уровня;

содействие передаче новых технологий в продукты для коммерческого и общественного блага;

разрабатывать и поддерживать образовательные ресурсы, квалифицированную рабочую силу, а также вспомогательную инфраструктуру и инструменты для продвижения нанотехнологий; и

Как сообщает академик Ю.Д.Третьяков, существенные успехи, достигнутые за рубежом, нередко связаны с деятельностью наших соотечественников, причем сегодня российская научная диаспора за рубежом насчитывает около 400 тысяч человек. Он отмечает, что в этой связи заслуживают внимания звучащие в последнее время предложения (Ю. Магаршак, О. Фиговский) широко использовать интеллектуальный потенциал и опыт коммерциализации нанотехнологий, накопленный нашими соотечественниками, живущими и работающими постоянно за рубежом.

Разумеется, что эти предложения, кажущиеся исключительно привлекательными, могут натолкнуться на серьезные трудности, связанные с особенностями российского менталитета, существенно отличающегося от китайского или индусского, а также с экономическими и политическими реалиями в нашей стране. И, тем не менее, было бы разумно проанализировать серьезно возможные последствия реализации программы объединения русскоязычного творческого сообщества вплоть до создания Объединенного института нанотехнологий по образу и подобию Объединенного института ядерных исследований в Дубне, возникшего более 50 лет назад и успешно функционирующего и в настоящее время. Здесь надо отметить, что впервые идея создания Объединенного института нанотехнологий была выдвинута именно в журнале «Экология и жизнь» несколько лет тому назад, на заре образования Роснано

На протяжении десяти лет, до 2018 года, китайские власти активно привлекали высококвалифицированных ученых, обучавшихся за рубежом, через финансируемую государством программу Thousand Talents Plan (ТТР, «План тысячи талантов»), автор настоящей статьи был одним из участников данной программы. Однако США расценили эту программу как угрозу для своих интересов и начали проводить расследования. В результате давления со стороны США Китай закрыл ТТР, но спустя два года возродил ее под новым названием и форматом. Проект подразумевает очень щедрые вознаграждения для специалистов, готовых помочь Китаю совершить рывок в полупроводниках. Reuters проанализировало более 500 правительственных документов за период с 2019 по 2023 год и опросило различные источники. Выяснилось, что обновленная система привлечения зарубежных специалистов в Китае предлагает ряд привилегий, включая субсидии на приобретение жилья и бонусы, которые достигают от 3 до 5 млн юаней (от \$420 000 до \$700 000). У Китая есть разнообразные программы на различных правительственных уровнях с целью привлечения как талантов из-за рубежа, так и китайских граждан, получивших профильное образование и опыт работы за рубежом.

Согласно документам и онлайн-объявлениям о найме персонала, главной альтернативой программы ТТР стал проект Qiming («Просвещение») Министерства промышленности и информационных технологий Китая. Qiming набирает специалистов в научных и технологических областях, включая «засекреченные» области, такие как полупроводниковая индустрия. В отличие от ТТР, новая программа не предусматривает публикацию имен привлеченных специалистов. В некоторых документах также

упоминается программа Нуоји («Факел»), которую курирует Министерство науки и технологий с целью создания кластеров технологических компаний. По информации источников Reuters, новые программы Китая по привлечению талантов, также как и ТТР, сфокусированы на привлечении высококвалифицированных специалистов, получивших образование в ведущих зарубежных университетах. Так, большинство отобранных кандидатов для программы Qiming обучались в главных университетах США и имеют степень PhD (кандидат наук).

Китай проявляет интерес и к ученым, прошедшим обучение в Массачусетском технологическом институте, Гарвардском университете и Стэнфордском университете. Твердое стремление Китая привлечь высококвалифицированных специалистов подтверждается суммами вознаграждений. В рекламных материалах программ Qiming и Нуоји указано, что привлеченные эксперты могут рассчитывать на выплаты вплоть до 15 млн юаней (\$2,1 млн). Более того, люди, которые порекомендовали кандидатов, отобранных для этих программ, могут тоже получить щедрые бонусы, вплоть до автомобиля и жилья. В китайской индустрии производства микросхем наблюдается нехватка 200 тысяч специалистов, в том числе инженеров и разработчиков, сообщает отчет за 2021 год Китайского центра развития информационной индустрии, Правительственного аналитического центра и Китайской ассоциации полупроводниковой промышленности.

Исследователи США будут использовать новое нано-покрытие для камер реакторов в экспериментальном устройстве Wisconsin HTS Axisymmetric Mirror. Ученые из Университета Висконсин-Мэдисон создали новое внутреннее покрытие для реакторов ядерного синтеза. Оно отличается холодным распылением. Покрытие не только принимает тепло, но и улавливает некоторые частицы водорода, потенциально улучшая работу плазменные камеры меньшего размера. Покрытие изготовлено из металлического тантала, который выдерживает чрезвычайно высокие температуры. Тантал распылялся холодом на нержавеющую сталь и подвергался термоядерным условиям. Эксперименты показали, что он «превосходно работал», — пишут ученые. В термоядерных реакциях ионизированный водород, известный как плазма, подвергается уровням давления и тепла, как в центре Солнца. Это приводит к тому, что атомные ядра сливаются и высвобождают огромное количество чистой энергии. Создание камер, в которых удерживается плазма, необходимая для термоядерного синтеза, проблематично из-за экстремальных уровней тепла и давления. Другая проблема с процессом заключается в том, что иногда атомы водорода могут нейтрализовываться и выходить из плазмы. Это ослабляет ее потенциал. Новое покрытие решает эти проблемы. Ученые планируют использовать покрытие на Wisconsin HTS Axisymmetric Mirror (WHAM). Это экспериментальное устройство, которое пригодится для термоядерной электростанции следующего поколения от Realta Fusion.

Исследователи США разработали программируемого наноробота, который состоит всего из четырех нитей ДНК. Этот крошечный робот с помощью ультрафиолета захватывает другие фрагменты ДНК и соединяет их вместе, чтобы создавать новые наномашинки, в том числе собственные копии. Тысяча таких ботов достигает ширины человеческого волоса. Технология может применяться для производства лекарств и ферментов. Хотя некоторые

считают, что самореплицирующиеся нанороботы могут вызвать апокалипсис. Эти роботы имеют размер всего 100 нанометров в диаметре. Примерно тысяча таких ботов может выстроиться в линию, которая имеет ширину, сравнимую с человеческим волосом. Команда из Нью-Йоркского университета, Института биомеханической инженерии Нинбо Цыси и Китайской академии наук утверждает, что их роботы превосходят предыдущие разработки, которые были способны собирать детали только в двумерные формы. Новые боты используют точное складывание и позиционирование в нескольких осях, чтобы работать в трехмерном пространстве и иметь больше возможностей.

Наноботы рассматриваются как потенциальные способы производства лекарств, ферментов и других химических веществ внутри клеток организма. Но исследователи особо отмечают тот факт, что эти устройства могут воспроизводить всю свою трехмерную структуру и функции. Тем не менее, роботы не полностью автономны. Они действуют в ответ на контролируемую извне температуру и ультрафиолетовый свет. Им требуется, чтобы ультрафиолет «сваривал» кусочки ДНК, которые они собирают вместе. Они не могут создавать свои копии без точных поставок необходимых фрагментов ДНК. Поэтому апокалипсис Серой слизи человечеству пока не грозит. Согласно этой идее, самореплицирующиеся наноботы и подобные им микроорганизмы начнут неуправляемо копировать себя и распространяться, заполняя всю планету и приводя к гибели других форм жизни.

Американские чиновники не верят в способность Huawei получать передовые 7-нанометровые чипы в достаточных количествах. Такие опасения возникли после анонса смартфонов Huawei серии Mate 60, что привело к расследованию, целью которого было выяснить, как Huawei и другие китайские компании смогли достичь этого уровня технологий и представляет ли это угрозу национальной безопасности США. По словам замминистра торговли США, у Huawei нет возможности массово получать такие чипы приемлемого качества, хотя техпроцесс 7-нм китайцами действительно освоен, пусть пока и не оптимизирован. Замминистра торговли США Тэа Кендлер заявила по результатам расследования, что у Huawei нет возможности получать 7-нм чипы в массовых количествах с приемлемым уровнем качества для удовлетворения спроса. Она отметила, что производительность этих процессоров, как показали тесты, оказалась хуже по сравнению с теми, что производились Huawei до введения санкций. США не считают появление этого чипа серьезной угрозой для себя. Санкции против Huawei и её поставщика процессоров SMIC работают и будут не только сохранены, но, возможно, усилены. Так, министр торговли США Джина Раймондо пообещала принять самые эффективные возможные меры в ответ на прорыв в производстве полупроводниковых чипов в Китае — американцы признают, что сам техпроцесс 7-нм китайцами освоен, но производство пока не оптимизировано. Раймондо назвала это «тревожным звонком». США запретили продажу чипов Huawei, которая, как сообщается, использовала чипы от китайского гиганта Semiconductor Manufacturing International Corp (SMIC). Ранее в Китае не было собственного производства 7-нм чипов.

США также изучают три новых ускорителя для искусственного интеллекта, которые компания Nvidia Corp. разрабатывает для Китая с учетом требований американских

регуляторов, чтобы убедиться, что они не нарушают правила экспортного контроля. По некоторым характеристикам они не соответствуют новым требованиям Министерства торговли США, объявленным в октябре, о более строгом контроле передовых ИИ-чипов для гражданского использования, которые могут иметь военное применение. Не исключено, что выпуск таких чипов и их экспорт в Китай будут все-таки запрещены. Министерство иностранных дел Китая в ответ заявило, что США нарушают права китайских компаний и не соблюдают принципы рыночной экономики. В отчете Комитета по иностранным делам Палаты представителей США говорится, что китайский чиповый гигант SMIC производит 7-нанометровые чипы — передовую технологию, которая ранее была только у TSMC, Intel и Samsung. Согласно отчету, для этого производства, скорее всего, потребовалось использовать технологии американского происхождения, поэтому закон об экспорте был нарушен. Кем именно — еще предстоит выяснить. В отчете подчеркивается, что неконтролируемая передача американских технологий в Китай является одним из самых значительных факторов, способствующих тому, что Поднебесная становится одной из ведущих научно-технических держав мира.

Атомы — самые точные хранители времени на планете. Электроны в атомных часах на основе цезия-133 при переходе с одного энергетического уровня на другой испускают электромагнитное излучение с частотой 9 192 631 770 Гц. Именно на такое число промежутков делится секунда в этих часах. Коммерчески доступные атомные часы на основе цезия широко применяются в GPS, навигации, финансовых рынках и передаче данных. Но следующее поколение атомных часов, которое работает на оптических частотах, еще точнее. Эти часы «тикают» десятки триллионов раз в секунду. Калифорнийский стартап Vector Atomic выпустил на рынок первые портативные оптические часы. Они в 100 раз превосходят точность существующих атомных часов того же размера. Сегодня наиболее точные часы, которые можно купить, — атомные. Основное отличие оптических часов от их атомных предшественников заключается в использовании лазеров. Ученые создают очень точные часы, используя атомы с узкими переходами между энергетическими уровнями (обычно стронций или иттербий). Чтобы работать с этими атомами, они используют несколько лазеров. Атомы находятся в вакуумных камерах, в то время как лазеры помогают охладить и захватить их, а также блокировать нежелательные переходы и анализировать выбранный переход. Однако, чтобы лазеры работали правильно, нужно поддерживать их на определенных частотах, а их обслуживание требует постоянного контроля.

Чтобы создать менее точную, но более надежную и портативную версию оптических часов, команде Vector Atomic пришлось применить другой подход. Вместо того, чтобы проектировать оптическую систему вокруг атома, стартап разработал систему вокруг лазеров. Наиболее надежные и долговечные лазеры используются в телекоммуникациях и промышленной обработке материалов. Благодаря десятилетиям коммерческих исследований и разработок эти лазеры стали компактными и стабильными. Команда выбрала подходящий им вид атомов — молекулярный йод. У этой молекулы есть удобные переходы для инфракрасного лазера с удвоенной частотой, который обычно используется при обработке материалов. Также была выбрана простая установка с паровой ячейкой, которая позволяет избежать необходимости охлаждения атомов до низких температур. Результатом стали оптические часы под названием Evergreen объемом всего 30 литров.

Для сравнения, их размер сопоставим с большим проигрывателем для пластинок. Хотя точность измерения времени Evergreen не достигает лабораторного уровня, она в 100 раз превосходит точность существующих атомных часов такого же размера. Эти часы соответствуют характеристикам водородных мазеров (устройств размером с холодильник), но при этом они значительно менее чувствительны к окружающему шуму.

Летом 2022 года прототип Evergreen провел три недели на борту корабля в море для испытаний. Все это время часы работали без какого-либо вмешательства. По возвращении команда проверила работу часов и обнаружила, что точность ухудшилась незначительно, несмотря на турбулентность и перепады температуры на борту корабля. Это был первый случай, когда оптические часы работали автономно, без вмешательства человека, в реальных условиях. За счет размера и стабильности Evergreen можно внедрить в навигации, особенно когда сигналы GPS блокируются или подделываются. Эти часы могут быть полезны в центрах обработки данных и телекоммуникационных протоколах, а также для синхронизации сигналов от удаленных детекторов в научных исследованиях. Сегодня точность GPS составляет приблизительно три метра, но более точная синхронизация со спутниками позволит снизить эту погрешность до нескольких сантиметров или даже меньше. Это позволит автономным транспортным средствам оставаться на своей полосе, а дронам-доставщикам приземлиться хоть на балконе. Возможность разделить время на более мелкие части также обеспечит более высокую пропускную способность связи.

Ученые создали материал с наночастицами серебра и фосфорномолибденовой кислотой, который убивает бактерии и бактериальные биопленки без использования антибиотиков. Он в 10 тыс. раз снижает жизнеспособность биопленок золотистого стафилококка, синегнойной палочки и *Acinetobacter baumannii*. Такой материал можно использовать в составе покрытий различных поверхностей, требующих длительной защиты от бактериального загрязнения, например медицинских инструментов. Антибактериальные покрытия широко используются в медицинских учреждениях, пищевых производствах, а также в бытовых условиях для обработки таких предметов, как дверные ручки, раковины, столешницы и даже одежда. Они помогают снизить риск распространения инфекций, особенно в местах, где гигиена имеет первостепенное значение. Один из наиболее известных материалов с антибактериальными свойствами — серебро. Ионы этого металла нарушают работу ферментов бактерий, что приводит к образованию токсичных форм кислорода и в итоге гибели микроорганизмов. Наибольший эффект при этом проявляет коллоидное серебро, состоящее из наночастиц — чем меньше их размер, тем сильнее antimicrobial эффект. Однако серебро наиболее эффективно в концентрациях, которые могут быть токсичными для клеток человека, поэтому ученые ищут способы повысить активность этого металла, чтобы использовать его в минимальных количествах. Ученые из Губкинского университета (Москва), Института физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН (Москва), Химического института Сан Карлоса (Бразилия) и Медицинского университета Караганды (Казахстан) разработали материал с антибактериальным и антибиопленочным эффектом.

Серебро, нанесенное в виде наночастиц на глинистый носитель, обеспечило антибактериальные свойства материала, а фосфорномолибденовую кислоту авторы использовали, чтобы увеличить бактерицидную активность материала как за счет действия самой кислоты, так и за счет ускорения высвобождения ионов серебра. Авторы проверили антибактериальную активность материала, нанося его в плавающие культуры и на биопленки бактерий *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Acinetobacter baumannii*, вызывающих такие внутрибольничные инфекции, как пневмония, болезни мочевыводящих путей и заражение ран. Эксперименты показали, что композит в концентрации 1 грамм на литр подавляет рост *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Acinetobacter baumannii* на 35%, 49% и 46% соответственно, что оказалось в два раза более эффективным результатом по сравнению с обычными наночастицами серебра. Полученный материал подходит для локального применения: его можно использовать в составе красок или других материалов для обработки поверхности предметов, мебели, инструментов. Кроме того, при замене фосфорномолибденовой кислоты на биосовместимые компоненты появляется перспектива использовать такие материалы в медицине. «Проведение хирургических операций часто осложняют хронические болезни пациента или процессы нагноения, возникающие из-за бактериальных заражений. Приходится добавлять локально много антибиотиков, что может вызвать устойчивость бактерий к ним. Сейчас мы работаем над тем, чтобы наш материал можно было включать в состав костных цементов или покрывать им поверхность имплантов, чтобы повысить их приживаемость и избежать нагноения после операции», — рассказал руководитель проекта, Дмитрий Копицын, ведущий научный сотрудник.

Исследователи объединили электронику с органоидом из клеток человеческого мозга. Исследователи из Университета Индианы разработали систему искусственного интеллекта Brainware, которая использует в качестве основы органоид из клеток человеческого мозга. В серии экспериментов биокомпьютерная система научилась распознавать голос человека на основе серии коротких аудиозаписей. Исследователи вырастили из стволовых клеток небольшой органоид мозга диаметром менее нанометра и установили его на многоэлектродную матрицу высокой плотности. Кремниевая подложка — это чип, который способен отправлять электрические сигналы в органоид и считывать сигналы, возникающие между нейронами в процессе нервной активности. Органоид включили в систему ИИ, работающего по принципам резервуарных вычислений. Живые нейроны служили динамическим физическим слоем резервуара, способным захватывать и запоминать информацию на основе последовательности входных данных. Для входного и выходного слоев ученые использовали обычное компьютерное оборудование.

Принцип устройства биокомпьютерной системы (слева) и органоид из клеток мозга (справа). Изображение: Hongwei Cai et al., Nature Electronics

Исследователи протестировали работу системы на задаче по распознаванию речи. Они отправили в органоид 240 аудиозаписей восьми человек, произносящих японские гласные звуки. Данные были загружены в чип в виде преобразованных электрических сигналов. Исследователи использовали подход неконтролируемого обучения или обучения без

учителя. Система обучалась выявлять закономерности и скрытые взаимосвязи на наборах неразмеченных данных без контроля со стороны пользователя. В начале эксперимента органоид смог различить – всего лишь по одному гласному звуку – какой из восьми разных людей говорил, с точностью примерно 51%. Двумя днями позже этот показатель вырос до 78%. Brainware также использовали для предсказания отображения Энона — нелинейной динамической системы. По сравнению с искусственными нейросетями биокомпьютерная система показала несколько меньшую точность, но более высокую скорость обучения. Нейропластичность мозга, способность выращивать новую нервную ткань и расширять существующие соединения обеспечивает ему возможность учиться на шумных потоках данных низкого качества с минимальными затратами на обучение и энергию, отмечают исследователи. Они полагают, что в будущем энергоэффективные и быстродействующие биокомпьютерные комплексы смогут заменить искусственный ИИ. И это исследование один из первых шагов на пути к таким системам.

Команда исследователей, работающих в рамках программы DARPA под названием «Оптимизация с помощью шумных квантовых устройств среднего масштаба» (ONISQ), достигла важного прорыва, создав первую в мире квантовую схему с использованием логических кубитов. Это открытие имеет огромный потенциал для ускорения отказоустойчивых квантовых вычислений и может перевернуть представление о проектировании процессоров для квантовых компьютеров. Программа ONISQ началась в 2020 году. Ее цель: продемонстрировать количественное преимущество квантовой обработки информации за счет скачка производительности классических суперкомпьютеров для решения особенно сложного класса задач, известных как комбинаторная оптимизация. Программа преследовала гибридную концепцию, объединяющую «шумные» — или подверженные ошибкам — квантовые процессоры среднего размера с классическими системами, ориентированными именно на решение задач оптимизации, представляющих интерес для оборонной и коммерческой промышленности. Команды были отобраны для изучения различных типов физических, нелогических кубитов, включая сверхпроводящие кубиты, ионные кубиты и атомные кубиты Ридберга. Квантовое вычисление, основанное на концепциях, которые кажутся почти магическими или безумными, обладает потенциалом изменить наше представление о компьютерах, какими мы привыкли их видеть. Путем использования квантовых эффектов и сложных математических подходов, квантовое вычисление способно ускорить обработку данных на порядки по сравнению с классическими компьютерами и расширить границы многих областей науки. Это открывает новые возможности для исследований и технологического прогресса.

После более 30 лет попыток исследователи синтезировали сверхтвердый нитрид углерода. Исследователи из Шотландии, Германии и Швеции решили загадку, которая длилась десятилетиями, и открыли практически неразрушимое вещество. В условиях экстремальной температуры и давления ученые синтезировали нитриды углерода, твердость которых оказалась выше, чем у кубического нитрида бора, второго материала после алмаза. Ученые подвергли различные формы прекурсоров углерода и азота давлению от 70 до 135 ГПа. Это примерно в миллион раз превышающему атмосферное давление на Земле. Сжатые материалы нагрели до температуры более 1 500 °С. Затем расположение атомов изучили с помощью рентгеновского излучения на трех ускорителях

частиц во Франции, Германии и США. Этот анализ показал, что три из синтезированных соединений нитрида углерода имели структуры, необходимые для создания сверхтвердого материала. К удивлению исследователей, все соединения сохранили сверхтвердые алмазоподобные свойства, когда остыли и вернулись к атмосферному давлению.

Дальнейшие расчеты и эксперименты показывают, что новые материалы обладают другими необычными свойствами. Например, для них характерна фотолюминесценция и высокая плотность энергии, при которых большое количество энергии может храниться в небольшом количестве массы вещества. Материаловеды пытались раскрыть потенциал нитридов углерода с 1980-х годов, когда ученые впервые заметили их исключительные свойства, в том числе высокую устойчивость к нагреву. Но после более чем трех десятилетий исследований и многочисленных попыток синтеза до сих пор не было получено никаких заслуживающих доверия результатов. Потенциальное применение для полученных сверхтвердых нитридов углерода обширно, добавляют ученые. Например, их можно использовать при создании защитных покрытий для автомобилей и космических кораблей, высокопрочных режущих инструментов, солнечных панелей и фотодетекторов.

Ведущий китайский производитель микрочипов для оперативной памяти ChangXin Memory Technologies (СХМТ), невзирая на санкции, достиг очередного технологического прорыва. Об этом стало известно из независимого анализа, представленного на ежегодной конференции по микро- наноэлектронике IEEE IEDM в Сан-Франциско. Компания представила свое достижение — транзистор на окружающих затворах (GAA), самый передовой вид транзистора для чипов 3 нм. Исследования в области транзисторов на окружающих затворах (GAA) начались с 2000 года. Эта технология считается важной для развития логических микрочипов нового поколения, поскольку позволяет размещать на одной интегральной схеме больше транзисторов. В 2017 году Samsung начала разработку GAA для 3-нм техпроцесса, а массовое производство запустила в 2022 году. Оно требует особого программного обеспечения для автоматизации проектирования (САПР) и в этой области, как считалось, Китай сильно отстает от мировых лидеров. Несмотря на то, что СХМТ не предоставила участникам конференции образов своего нового транзистора, новость о достижении прорыва в производстве оперативной памяти привлекла внимание аналитиков, поскольку разработка таких микрочипов обычно требует технологий, подпадающих под введенные США санкции. Со своей стороны, СХМТ отрицает какие-либо нарушения экспортного контроля, настаивая, что добилась результата собственными силами.

Научная статья, представленная на конференции IEEE IEDM, описывает фундаментальное исследование по структуре DRAM и функциональности конструкции 4F2 и не имеет ничего общего с нынешними производственными процессами СХМТ. Другими словами, разработка еще не скоро попадет на рынок, пишет SCMP. С другой стороны, очевидно, что китайские власти приложат все усилия, чтобы помочь компании в сжатые сроки довести прорывную разработку до технологии стабильного производства. Фредерик Чэнь, эксперт из Winbond Electronics, назвал прогресс СХМТ «впечатляющим» и свидетельством того, что она в скором времени может представить инновационные продукты. «Это важно, потому что Samsung Electronics пытается сделать то же самое», —

сказал он. Как сообщает агентство Bloomberg, CXMT отказалась выходить на IPO и вместо этого решила привлечь финансирование, которое увеличит рыночную стоимость компании до 140 млрд юаней.

TSMC продолжает доминировать на рынке контрактного производства полупроводниковых компонентов, привлекая крупных заказчиков, таких как Apple и NVIDIA, своей передовой 2-нм технологией. В то же время Samsung, хотя и отстает от тайваньского производителя, развивает свою технологию 2-нм и стремится получить заказы от Qualcomm. Ожидается, что корейская компания начнет выпускать серийную продукцию 2-нм по своей технологии SF2 в 2025 году, тогда же, когда и TSMC. Борьба между ними за клиентов в области передовой литографии нарастает. По мнению аналитиков, TSMC по-прежнему предлагает лучшее сочетание цены, эффективности техпроцессов и надежности. Согласно информации источников Financial Times, TSMC уже продемонстрировала прототипы своей 2-нм продукции крупным заказчикам, таким как Apple и NVIDIA. Они надеются начать массовое производство 2-нм чипов в 2025 году.

Обычно мобильные гаджеты в первую очередь переходят на новый техпроцесс TSMC, поэтому Apple остается самым вероятным кандидатом для реализации 2-нм технологии в своих чипах. Apple уже применяет 3-нм процессоры M3 в мобильных устройствах и планирует в ближайшее время использовать их в ноутбуках и планшетах. Представители TSMC уверены, что к моменту выпуска 2-нм технологии на рынок, их компания станет ведущей как с точки зрения плотности транзисторов, так и в плане энергоэффективности. Samsung Electronics тоже активно ведет разработку новых технологий. Компания начала выпускать 3-нм продукцию номинально на несколько месяцев раньше TSMC и первой освоила структуру транзисторов с окружающим затвором (GAA). Однако на практике даже простая версия 3-нм технологии Samsung дает максимум 60% годных чипов в условиях массового производства, все остальное — брак и его объем пока запредельный. По мере усложнения дизайна изделий процент брака будет только увеличиваться. Представители Samsung ожидают, что компания начнет выпускать серийную продукцию 2-нм по своей технологии SF2 в 2025 году. Опыт в области транзисторов с окружающим затвором дает компании уверенность в достаточно плавном переходе от 3-нм к 2-нм технологии.

По неофициальным данным, Samsung стремится привлечь компанию Qualcomm своей 2-нм технологией, после того как Qualcomm отказалась от использования 4-нм техпроцесса корейского партнера и вернулась к TSMC. Привлечению клиентов могут мешать особенности структуры бизнеса Samsung. Компания выпускает чипы как для смартфонов конкурирующих брендов, так и для своих собственных устройств. Некоторые потенциальные клиенты опасаются, что их разработки попадут в руки конкурента, поэтому они не спешат сотрудничать с Samsung в области контрактного производства. Intel также стремится стать крупным контрактным производителем чипов. Недавно она впервые вошла в топ-10 участников рынка контрактного производства. В конце следующего года Intel намеревается начать выпуск компонентов по своей «ангстремной технологии» 18A. Однако представители TSMC считают, что по техническим параметрам эта технология будет сопоставима с их собственной 3-нм технологией. Не исключено, что

контрактный рынок может перестроиться на уровне отдельных взаимосвязей. Недавно NVIDIA намекнула, что она не против того, чтобы иметь третьего подрядчика на производство чипов в лице Intel. В то же время, компания AMD в июле выразила готовность рассмотреть других производственных партнеров, помимо TSMC. Аналитики Bernstein высказывают мнение, что утверждение Intel о необходимости снижения зависимости производственных цепочек в полупроводниковой индустрии от Тайваня столкнется с реалиями рынка. TSMC по-прежнему предлагает лучшее сочетание цены, эффективности техпроцессов и надежности в качестве партнера.

Если бы импланты можно было вводить в организм в жидкой форме, а затем делать их твердыми прямо на месте, операции стали бы менее инвазивными. Новая методика 3D-печати позволит создавать импланты внутри организма, используя биосовместимые чернила, активируемые ультразвуковыми волнами. Это работает так: в нужную область тела для создания имплантата вводятся специальные чернила, ультразвуковые волны активируют их полимеризацию внутри тела, а затем остатки чернил удаляются с помощью шприца. Такой подход может иметь большой потенциал в области хирургии и терапии. Существуют два основных метода 3D-печати. Первый метод основан на последовательном нанесении слоев вязкого материала, который затвердевает, чтобы создать трехмерные объекты. Этот метод является наиболее распространенным в 3D-печати. Второй метод, известный как объемная печать, использует светочувствительную желеобразную смолу, которая располагается в контейнере. Лучи или узоры света проецируются через прозрачные стороны контейнера, что приводит к полимеризации смолы в областях, которые подвергаются свету, в то время как остальная часть смолы остается гелевой. Путем перемещения источника света можно постепенно создать сложный трехмерный объект. Одно из ограничений объемной печати — для передачи света контейнер и смола должны быть прозрачными. Однако человеческая кожа и биологические ткани почти непрозрачны. Это означает, что свет проникает через них только на небольшую глубину, обычно несколько миллиметров. Поэтому пока объемная печать не может использоваться для создания имплантатов внутри организма.

Бетонные конструкции, напечатанные на 3D-принтере, строятся быстрее и дешевле, чем их традиционные аналоги, но они не всегда такие же прочные. Ученые из австралийских университетов добавили немного оксида графена в цемент, чтобы решить проблему. Это позволило увеличить общую прочность материала на 10%. Кроме того, графен обладает высокой электропроводностью, что позволяет использовать его для обнаружения трещин в бетоне. Традиционные методы строительства бетонных зданий и конструкций включают заливку влажного бетона в деревянные формы, которые после затвердевания удаляются. В свою очередь 3D-печать таких структур предполагает нанесение последовательных слоев экструдированного бетона, которые соединяются друг с другом по мере затвердевания. Однако связь между этими слоями иногда может быть слабой, что снижает общую прочность конструкции. Чтобы решить эту проблему, ученые из австралийского университета RMIT и университета Мельбурна добавили оксид графена в цемент, используемый в качестве связующего вещества в бетоне, напечатанном на 3D-принтере. Оксид графена — это окисленная форма графена. Графен состоит из одного слоя атомов углерода, связанных друг с другом в виде соты. Он является двумерным материалом и имеет толщину в один атом. Эксперименты с разными количествами показали, что при

добавлении оксида графена в дозировке 0,015% от веса цемента полученный бетон демонстрирует лучшее межслоевое сцепление. Это привело к увеличению общей прочности на 10%.

Оксид графена содержит на своей поверхности функциональные группы, похожие на липкие пятна, которые цепляются за предметы. Основным составляющими этих «липких пятен» являются различные функциональные группы, содержащие кислород. Они играют важную роль в формировании прочных связей с другими материалами, например, с цементом. Благодаря этому улучшается общая прочность бетона. Есть еще один бонус. Поскольку графен обладает высокой электропроводностью, через затвердевший бетон можно пропускать электрический ток. В перспективе эту функцию можно использовать в системе обнаружения трещин. Даже самые маленькие трещины будут прерывать электрическую цепь, проходящую через бетонную конструкцию. В будущем необходимо провести дополнительные исследования, чтобы определить, насколько прочность бетона, напечатанного на 3D-принтере, сопоставима с прочностью традиционного литого бетона.

При разработке высокоэффективных зеркал специалисты стремятся достичь невозможного, то есть получить покрытия с безупречными отражательными свойствами. В видимом промежутке длин волн, от 380 до 700 нанометров (нм) самые эффективные зеркала из металла обеспечивают до 99% отражательной способности. Для понимания, это значит, что теряется один фотон из каждой сотни отражённых частиц света. Казалось бы, 99% — это весьма достойный показатель, однако в ближнем ИК диапазоне — от 780 нм до 2,5 микрометра (мкм) — специальные зеркальные покрытия уже демонстрируют отражательную способность на 99,9997%. Иными словами, благодаря им из 1 млн отражённых фотонов теряются лишь три. Уже давно учёных обуревают стремление охватить передовой технологией суперзеркала в среднем ИК диапазоне, то есть при длинах волн от 2,5 мкм до 10 мкм и выше. Побуждение — не сугубо научное: такой успех позволил бы достичь существенного прогресса, например, при измерении остаточных газов, что было бы интересно экологам, а также при анализе свойств биотоплива. А ещё удалось бы усовершенствовать такие технологии в промышленности и медицине, как лазерная резка материалов и хирургические ножи. Однако ещё совсем недавно наилучшие зеркала в среднем ИК диапазоне теряли один фотон из 10 тыс., а это в 33 раза хуже, чем суперзеркала в ближнем ИК диапазоне. Но ситуация переменилась. В журнале *Nature Communications* международная группа учёных опубликовала статью о своём «зеркальном рекорде». Специалисты Венского университета с партнёрами из калифорнийской компании Thorlabs Crystalline Solutions смогли изготовить зеркала в среднем ИК диапазоне и с полупроводниковой оптикой типа CDL Mid-IR, теряющие лишь восемь фотонов из 1 млн. То есть у новейших суперзеркал отражательная способность 99,99923%.

Американская компания IBM на ежегодной конференции Quantum Summit презентовала модульный квантовый компьютер Quantum System Two. Он работает на базе трех чипов Heron. Процессор Heron оперирует 133 кубитами и выдает в пять раз меньше ошибок во время вычислительных процессов, если сравнивать его с чипом Eagle этого же производителя. Сегодня квантовые процессоры используют сотрудники Министерства

энергетики США, Токийского университета (Япония), австралийского стартапа Q-CTRL и Кельнского университета (Германия) для исследований в таких областях науки, как химия, физика, материаловедение и других. Преимущества модульного квантового компьютера понятны. Система разработана таким образом, что ее можно будет со временем дополнить новым оборудованием — процессорами, серверами и прочими комплектующими, улучшив технические характеристики.

Европейские и сингапурские физики использовали квантовые сенсоры магнитного поля на базе «дефектных» алмазов для обнаружения внутри природного минерала гематита ранее неизвестного типа квазичастиц, похожих по своим свойствам на гипотетические точечные источники магнитного поля. Об этом во вторник сообщила пресс-служба Кембриджского университета. «Существование монополей было давно предсказано физиками-теоретиками, однако нам впервые удалось получить их двумерный аналог в полноценном магнитном материале, который широко встречается в природе», — заявил профессор Кембриджского университета (Великобритания) Паоло Радаэлли, чьи слова приводит пресс-служба вуза. Ученые совершили это открытие при изучении свойств и внутренней магнитной структуры гематита, природного материала из оксида железа, который обладает антиферромагнитными свойствами. Последнее означает, что внутри гематита магнитные моменты атомов не направлены в одну сторону, как в обычных магнитах, а уложены в «шахматном» порядке.

Недавно физики просветили частицы гематита при помощи ускорителей частиц и открыли свидетельства того, что в их поверхностном слое могут существовать сложно устроенные магнитные структуры. Это заставило ученых детально изучить магнитные свойства минерала при помощи сверхчувствительных квантовых датчиков магнитных полей, построенных на базе «дефектных алмазов», драгоценных камней с вкраплениями одиночных атомов азота. Проведенные замеры показали, что на поверхности частиц магнетита существует ранее неизвестный тип квазичастиц, похожий по своим свойствам на магнитные монополи. Они возникали в результате магнитных взаимодействий большого числа атомов железа, чьи спины, своеобразные магнитные оси, коллективно выстраивались таким образом, что внутри гематита возникали области, обладающие только северным или южным полюсом. Как предполагают ученые, аналогичные стабильные и похожие на монополи структуры должны существовать и в других материалах с антиферромагнитными свойствами. Это позволяет применять их для создания новых систем хранения информации, которые будут пользоваться уникальными свойствами квази-монополей для записи данных и вычислений с минимальными затратами энергии и времени.

«Растягивая» тонкие пленки алмаза, ученые создали кубиты, которые могут работать со значительно меньшими затратами и оборудованием. Исследователи из Чикагского университета, Аргоннской национальной лаборатории и Кембриджского университета разработали технологию для создания менее ресурсоемких кубитов (квантовых битов), которыми легче управлять. Предложенный метод основан на растяжении тонких пленок алмаза. Одна из главных проблем квантовой связи связана с «узлами», которые будут передавать информацию по квантовой сети. Кубиты, составляющие эти узлы, очень

чувствительны к нагреву и вибрациям, поэтому для работы их нужно охлаждать до чрезвычайно низких температур. Исследователи экспериментировали с алмазами — одним из материалов, который используется для создания кубитов. Азотные вакансии (крошечные дефекты) в алмазах способны сохранять квантовую запутанность в течение относительно длительных периодов времени, но для этого материал необходимо охладить до температуры, немного превышающей абсолютный ноль.

В своих экспериментах ученые обнаружили, что они могут «растянуть» алмаз на молекулярном уровне, если положат тонкую пленку алмаза на горячее стекло. Когда стекло остывает, оно сжимается медленнее, чем алмаз, слегка растягивая атомную структуру алмаза — подобно тому, как асфальт расширяется или сжимается, когда земля под ним остывает или нагревается. Это растяжение, хотя и раздвигает атомы лишь на бесконечно малую величину, оказывает существенное влияние на свойства материала. Во-первых, кубиты в таком состоянии сохраняли когерентность при температурах до 4 К. Такую температуру можно достичь с помощью существующих установок и это требует гораздо меньше ресурсов и затрат, чем охлаждение до температур близких к абсолютному нулю. Во-вторых, «растяжение» позволило управлять кубитами с помощью микроволн. Предыдущие версии должны были использовать свет оптической длины волны для ввода информации и манипулирования системой, что приводило к появлению шума и снижало надежность системы. Использование микроволн в новой системе повысило точность до 99%. Исследователи полагают, что новая технология значительно снизит затраты на создание квантовых сетей связи, защищенных от взлома и искажения информации.

Вышеприведённые сведения о новейших достижениях науки в области наноиндустрии приводятся только на основе публикаций последнего месяца, что свидетельствует о том, что объём исследований и разработок в этой области растёт экспоненциально и всё более оставляет Россию на обочине наноиндустрии. Не достаточно просто проститься с такими неэффективными структурами как Роснано, создать новые структуры по типу национальных нанотехнологических инициатив как, например, действующих в Израиле и США.