

Виктор Клинков: «Мы как команда можем решать конкретные бизнес-задачи для разных предприятий»



Один из важных показателей в работе университета — статьи его учёных, посвящённые актуальным исследованиям и опубликованные в престижных научных изданиях. Каждая такая публикация становится вехой в деятельности авторского коллектива, подводит итог его многолетнему труду или одному из его этапов. В мае внимание научного сообщества привлекли две статьи политехников, имеющие как фундаментальное, так и практическое значение. Одна из них вышла в швейцарском научном журнале *Thin Solid Films*, она называется «Formation of the Structured Indium Tin Oxide Films by Magnetron Sputtering». Вторая «The Crystallization Behavior of As-S-Se Chalcogenide Glass with Small Amounts of Arsenic» опубликована в американском *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. О научных разработках, представленных в этих материалах, коллеги из Управления по связям с общественностью СПбПУ поговорили с одним из авторов, кандидатом физико-математических наук, старшим преподавателем Высшей школы физики и технологий материалов, заведующим учебной лабораторией прикладной химии на кафедре прикладной химии Института машиностроения, материалов и транспорта СПбПУ Виктором Клинковым.

— Виктор, статьи посвящены разным тематикам, с какой начнём?

— Расскажу о работе, поддержанной программой «Приоритет-2030». Это проект из области системного инжиниринга, посвящённый формированию покрытий на основе оксидов индия-олова. Эти уникальные полупроводниковые токопроводящие и светопроводящие покрытия хорошо известны в оптоэлектронике, их наносят на сенсорные экраны, дисплеи и солнечные панели. ИТО широко используется как прозрачный в видимом диапазоне электрод для экранов, антистатическое и антизамерзающее покрытие. Отмечу, что сам материал известен достаточно давно, но в опубликованной работе приводятся результаты по разработке технологии формирования наноструктурированного покрытия. Более двух лет проводились работы в коллаборации с коллегами из Физико-технического института имени Иоффе, одними из первых получившими именно наноструктурированные ИТО-покрытия. Сначала в работе принимала участие студентка нашего подразделения, впоследствии защитившая магистерскую диссертацию по этой теме. Затем к ней подключились другие сотрудники лаборатории. По результатам исследований были поданы патент и статья, и в итоге это направление исследовательской работы было поддержано программой «Приоритет 2030». Основной задачей исследования была разработка технологии с необходимыми оптическими и электрическими характеристиками материала, а самое главное их высокой повторяемостью. Задача нашей научной группы состояла в проектировании и сборке «Установки по формированию наноструктурированного покрытия» для серийного производства в интересах промышленного партнёра. Для этого были проведены проектные работы вакуумной и газовой систем, разработаны системы нагрева внутреннего объема камеры вплоть до 600 С и охлаждения корпуса, а также самой системы магнетронного распыления.

— Как будет применяться ваше изобретение?

— В проекте «Приоритет 2030» с нами работает промышленный партнёр, который производит в России сенсорные панели, специальные экраны, датчики и тому подобную продукцию. Наши коллеги из ФТИ имени Иоффе разработали технологию для получения небольших опытных образцов, и теперь мы совместно масштабируем технологию и проектируем промышленную установку, которая позволит в автоматическом режиме производить серию крупноформатных образцов с покрытием. С точки зрения экономики, это интересно заказчику, потому что с помощью формирования наноструктурированных покрытий можно снизить отражение, а значит избавиться от необходимости нанесения просветляющих покрытий, что в свою очередь позволит снизить число технологических операций, а это и время, и деньги.

— А сама установка что из себя представляет?

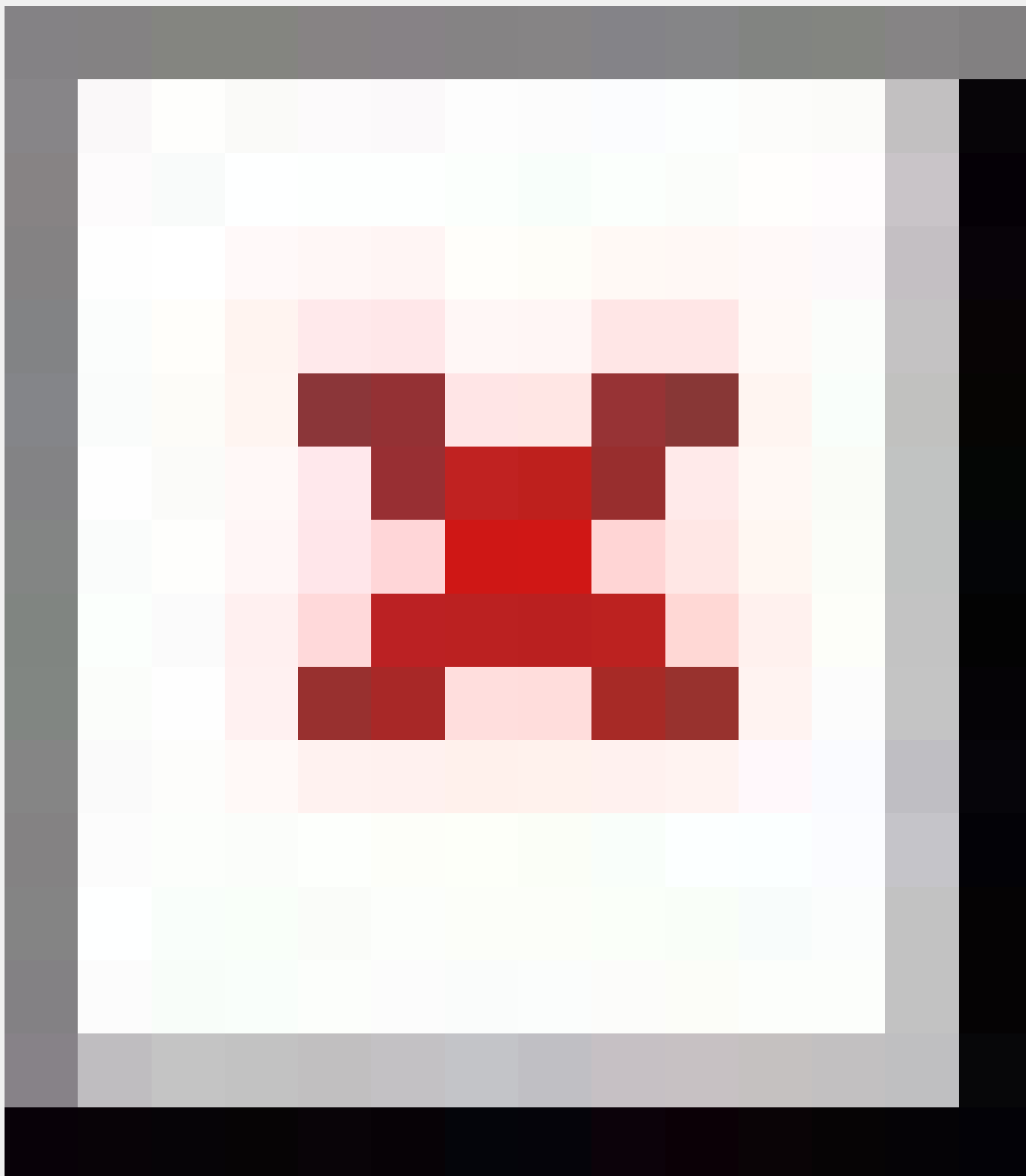
— Установка представляет собой вакуумную камеру, в которой специальным образом смонтированы нагревательные элементы, магнетроны, задвижки, вакуумная система, система регулировки и подачи газа, системы контроля технологических параметров. Она позволяет реализовать заранее отработанный режим роста нитевидных структур из ИТО и обеспечить покрытие стеклянных подложек промышленно значимых геометрических размеров.

— То есть вы эту технологию разработали плюс делаете установку?

— Да, это основной принцип работы нашей лаборатории. Сначала отработка технологических режимов, затем конструирование полупромышленного образца для серийной партии продукции и — окончательное масштабирование под производственные мощности. При этом полупромышленная установка остаётся у нас и служит для отработки и настройки новых режимов работы и оптимизации старых. Таким образом, мы действуем в связке с реальным производством, происходит кооперация.

— Сейчас проект в какой стадии?

— Сейчас проводится процедура закупки, Политех будет закупать оборудование, а мы будем ждать. Работы проводятся в НОЦ «Нанотехнологии и покрытия» с привлечением студентов и аспирантов, причём с различных направлений подготовки. Разрабатываемая промышленная установка нацелена на конкретные задачи нашего индустриального партнёра, который поверил в нас как команду разработчиков, конструкторов и технологов. Хотя это, конечно, риск, учитывая, что сейчас любое оборудование едет очень долго, а то, которое нам нужно, вообще не едет, и его надо делать самим.



— О каком проекте вторая статья?

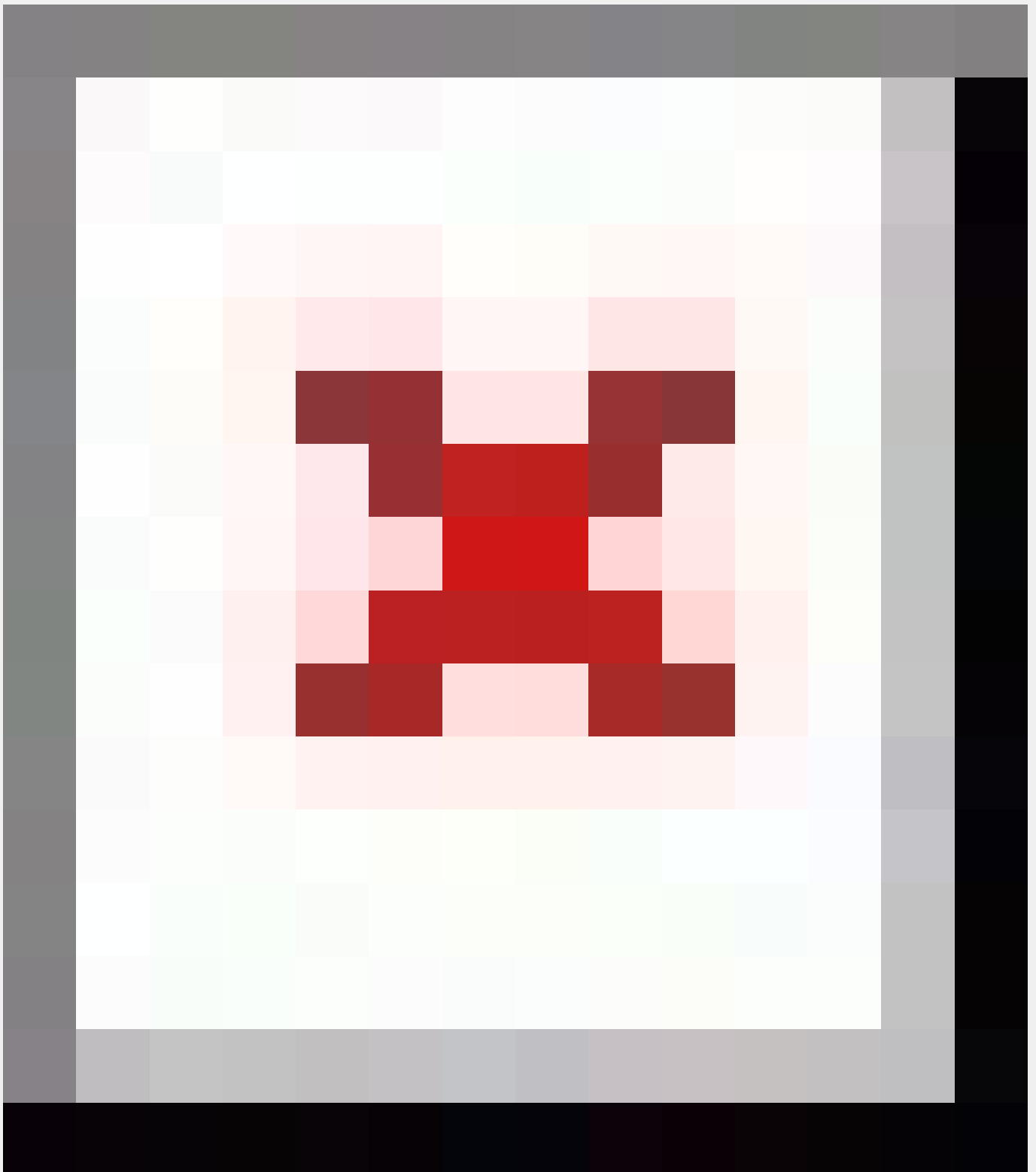
— Там описана наша работа, связанная с халькогенидными стёклами и стёклами с особыми свойствами для оптоэлектроники, инфракрасной оптики, спектроскопии, тепловизионной техники. Эта тематика в России пока слабо развита, да и в мире этим мало кто занимается. Практическое применение результатов — это сенсорные оптические устройства, оптические элементы и оптическое приборостроение в средней и дальней инфракрасной области: тепловизионные камеры, средства наблюдения, газовые анализаторы, жидкостные сенсоры. Молекулярные ИК-спектры

имеют более сложную полосатую структуру, чем электронные спектры поглощения в ультрафиолетовой и видимой областях. Но сами ИК-спектры весьма характерны, их называют «отпечатками пальцев» из-за индивидуальной неповторимости колебательного спектра для каждого вещества. Благодаря такой особенности ИК-спектроскопия является полным и однозначным источником информации о составе и структуре вещества в любом агрегатном состоянии. Эта работа — чисто фундаментальное исследование по характеристике процесса кристаллизации стеклообразных материалов на основе мышьяка, серы и селена при разных температурах. Это обосновывает их практическую значимость. Дело в том, что эти стёкла очень легкоплавкие. При 150 градусах они жидкие, поэтому из них легко формировать изделия. И они будут приемлемого оптического качества, их не нужно ни полировать, ни шлифовать. Это некий аналог полимерной оптики из обычных полимеров. А здесь получается неорганический материал, уникальный ещё тем, что он прозрачный в дальней ИК-области. Там никакие материалы, кроме монокристаллических Ge и Si, не работают. Такова природа, что в среднем и дальнем диапазоне никакие материалы, особенно синтетические, типа полимеров, не работают. У них там находятся вращательно-колебательные переходы между уровнями основного энергетического состояния. В общем случае поглощение ИК-излучения вызывают колебания, связанные с изменением либо длин связей, либо валентных углов между ними.

Мы разработали материал, который имеет низкую температуру размягчения, его легко можно отливать при низких температурах в форму, наносить в виде капель, линз, волокон, и они при этом будут прозрачными в ИК-диапазоне. Особенность описанной в публикации работы в том, что мы создали стекло, которое отличается от того, что сейчас применяют, оно с очень низким содержанием мышьяка. Сейчас используется классическое стекло, где мышьяк составляет 40 процентов, селен — 60. Мы сделали трёхкомпонентную систему, где мышьяка всего один процент. Как известно, стекло термодинамически неустойчиво. Поэтому любое стекло со временем, через тысячу лет, перейдёт в кристалл. Поскольку температура плавления наших стёкол достаточно низкая, то переход между стеклом и кристаллом имеет малую энергию активации. Если его греть до 110 градусов и держать при такой температуре, то оно начинает кристаллизоваться. Это будет проявляться в том, что оно будет мутнеть. Сверху будет появляться налёт из мелких-мелких кристаллов, как иней на куске льда. Минус в том, что при этом меняются оптические свойства. Излучение уже не проходит, оно рассеивается. Собственно, это мы и изучали, то есть какие кристаллические фазы при каких температурах формируются, и при каких температурах стекло не проявляет признаков кристаллизации.

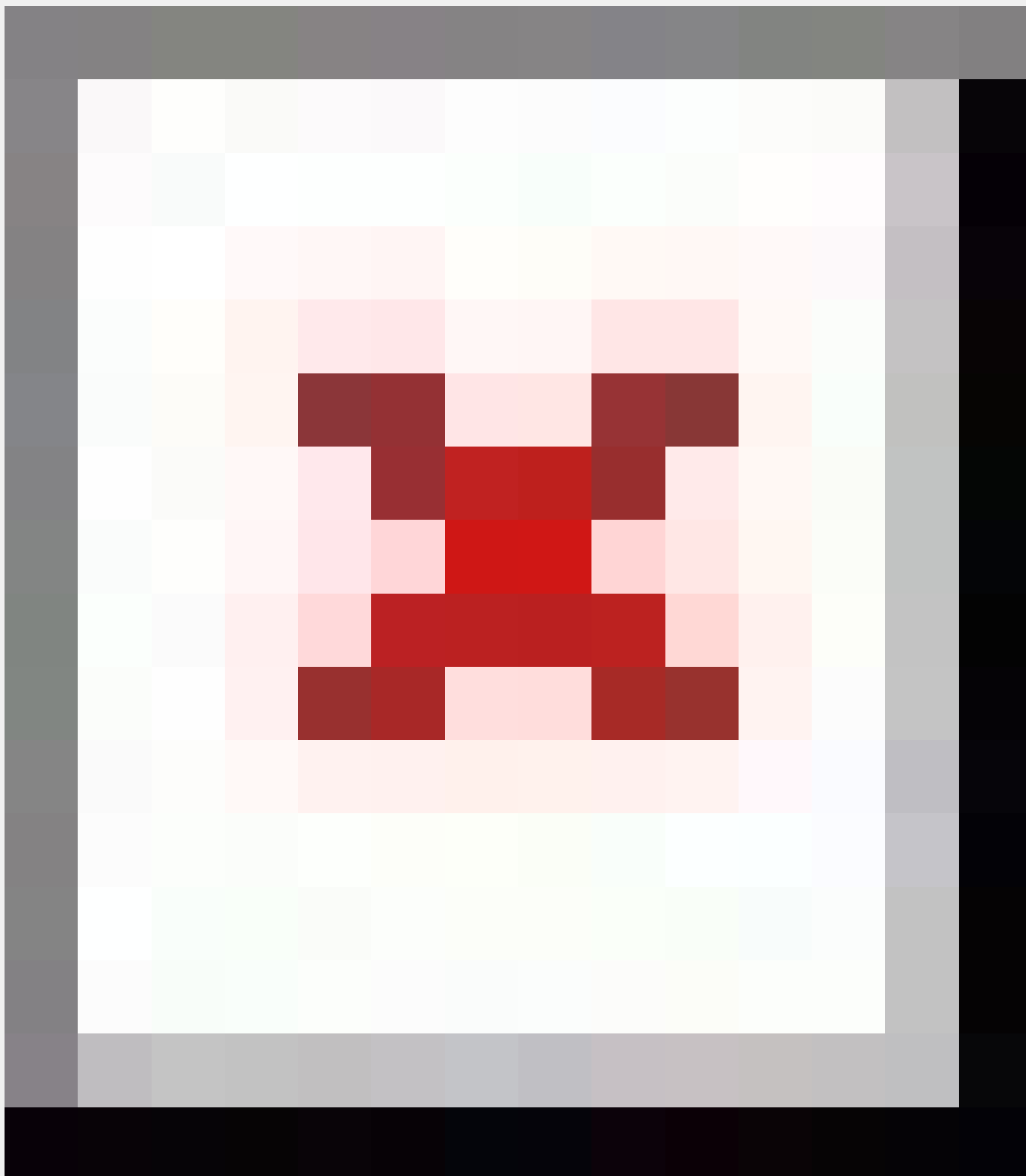
— И где его можно использовать с такими свойствами?

— В спектроскопии, тепловизионной технике, ИК-оптике — во всём том, что в России пока лишь развивается. Раньше это только покупалось за границей, поэтому здесь можно сказать, что предлагаемый нами вариант — это импортозамещение. Мы с этим стеклом выступали на «Армии-2020». Потом ездили с похожим стеклом и установкой на выставку ИННОПРОМ. И не просто со стеклом, у нас есть патент и технологии по формированию микроизделий из этого стекла.



— Это ведь не единственные проекты, в которых вы участвуете? В прошлом году победили в двух номинациях конкурса Blue sky research.

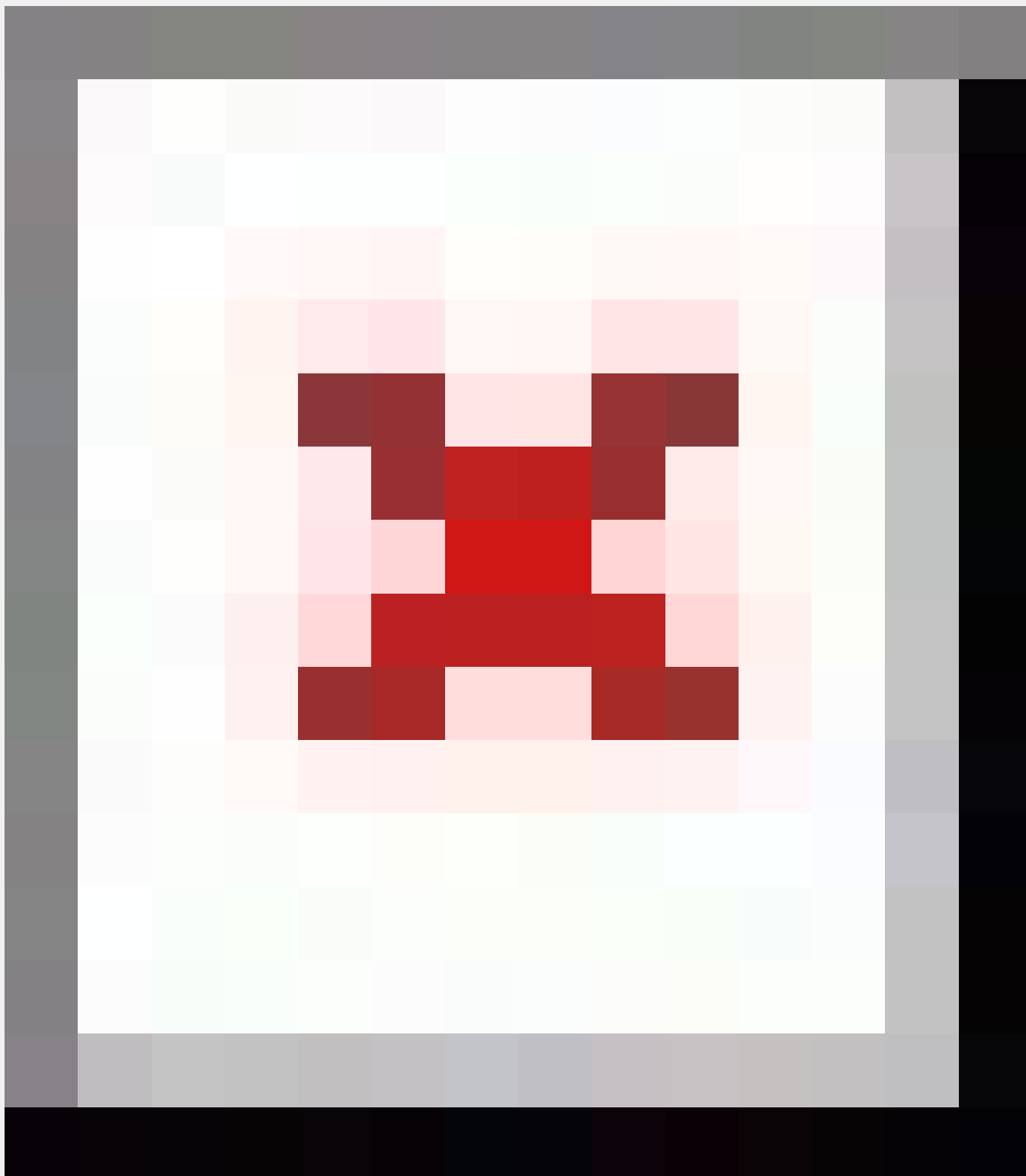
— Проектов много, в целом они про одно и то же, просто с разных сторон. Поскольку мы связаны с материалами для ИК-оптики, нам интересно, где их можно применять. На Blue sky research у нас было два проекта. Первый — газовые датчики, в которых наши стёкла используются как микролинзы. Рынок газового анализа достаточно крупный, учитывая, что в стране добывается газ. А второй проект — оптическая спектроскопия продуктов питания. Мы совместно с партнёрами разработали прибор, к которому прикрутили нейросеть, что позволило определять жирность молока по спектральным характеристикам. То есть по спектру отражения нейросеть, которую мы создали, распознаёт, что за молоко, какие у него характеристики. Сейчас мы работаем в этом направлении, есть маленький проект, на который мы возлагаем большие надежды, потому что этот рынок в России тоже не развит. В Америке и Европе подобные методы начали развиваться лет 10 назад. Здесь есть большие перспективы, у нас были переговоры с крупными компаниями — производителями молока. Им это очень интересно, потому что прибор размером с компьютерную мышку позволяет за 20 секунд измерить жирность молока. А недавно выяснилось, что с его помощью можно делать и другие вещи, например, отличить настоящий янтарь от поддельного, сруб дерева берёзы от сруба клёна и так далее. Это устройство много кому нужно. Таможне, например, это точно надо. Также этим методом заинтересовались в Эрмитаже.



— Расскажите, почему вы пошли учиться в Политех?

— Это было сумбурное решение, учитывая, что рядом с моим домом на Петроградке были ИТМО и ЛЭТИ, но я не ходил туда на дни открытых дверей. Не знаю, как так получилось, но, понимая, что мне нужна техническая специальность в области физики или математики, я почему-то пошёл на дни открытых дверей в Военмех и Политех. Сначала мне было непринципиально, куда поступать, пытался понять, а что вообще есть. Сходив в Военмех, понял, что там всё чересчур жёстко, по распорядку, строго регламентировано, мне это не очень понравилось. Всё очень сжато, выходишь из

здания — сразу попадаешь на оживлённую улицу. А потом ходил в Политех, в ИФНиТ на день открытых дверей. После Военмеха здесь всё показалось довольно-таки свободно. Большая территория, свой парк, нет каких-то рестрикций. Всё близко, есть кампус. Это понравилось. После этого ходил в ИТМО — чисто удостовериться, что мне туда не надо. И начал посещать подготовительные курсы в Политехе, по математике и физике. Было сложно. Понял, что в школе ничему не учат для поступления. Ведь у меня в гимназии по математике и физике было очень хорошо. Но в 11-м классе, когда я начал заниматься в Политехе, стало понятно, что разрыв огромный. Походил на курсы — и уже в апреле меня зачислили по результатам олимпиады по математике. Оставалось по русскому получить больше 30 баллов, и всё — я поступил в Политех. Подавал заявление на техническую специальность, типа систем защиты информации. А когда нас распределили по группам, выяснилось, что такой специальности нет. Так я попал на направление «Электроника и микроэлектроника» на кафедре оптики и физики твёрдого тела. Там работала профессор Татьяна Викторовна Бочарова, она стала моим научным руководителем. Когда я учился в аспирантуре, она умерла. Так на втором курсе аспирантуры я остался без научного руководителя и не мог продолжать работать над диссертацией, потому что концептуально она строилась как развитие идей Татьяны Викторовны. Тогда я переключился на другую тематику — это были преимущественно стёкла, обладающие люминесценцией. Когда начал писать кандидатскую, познакомился с ребятами из ИММиТа, кафедры общей химии, и мы стали вместе работать в области стёкол, но уже не только с люминесцентными свойствами. А потом и сам в ИММиТ устроился, стал завлабом прикладной химии.



— С какой темой вы участвовали в проекте «Умник»?

— Проблема, которая решалась в «Умнике», это разработка материала, катализатора, на котором выращиваются алмазы с минимальным содержанием примесей.

Материаловедение чистой воды. Есть натуральные алмазы, а есть синтетические, к которым долгое время относились как к подделкам. Потом поняли, что натуральных алмазов для всех отраслей промышленности не хватит. Кроме ювелирной промышленности, они ведь используются в оптике, электронике и много, где ещё. В оптических устройствах в дальнем диапазоне, помимо наших халькогенидных стёкол,

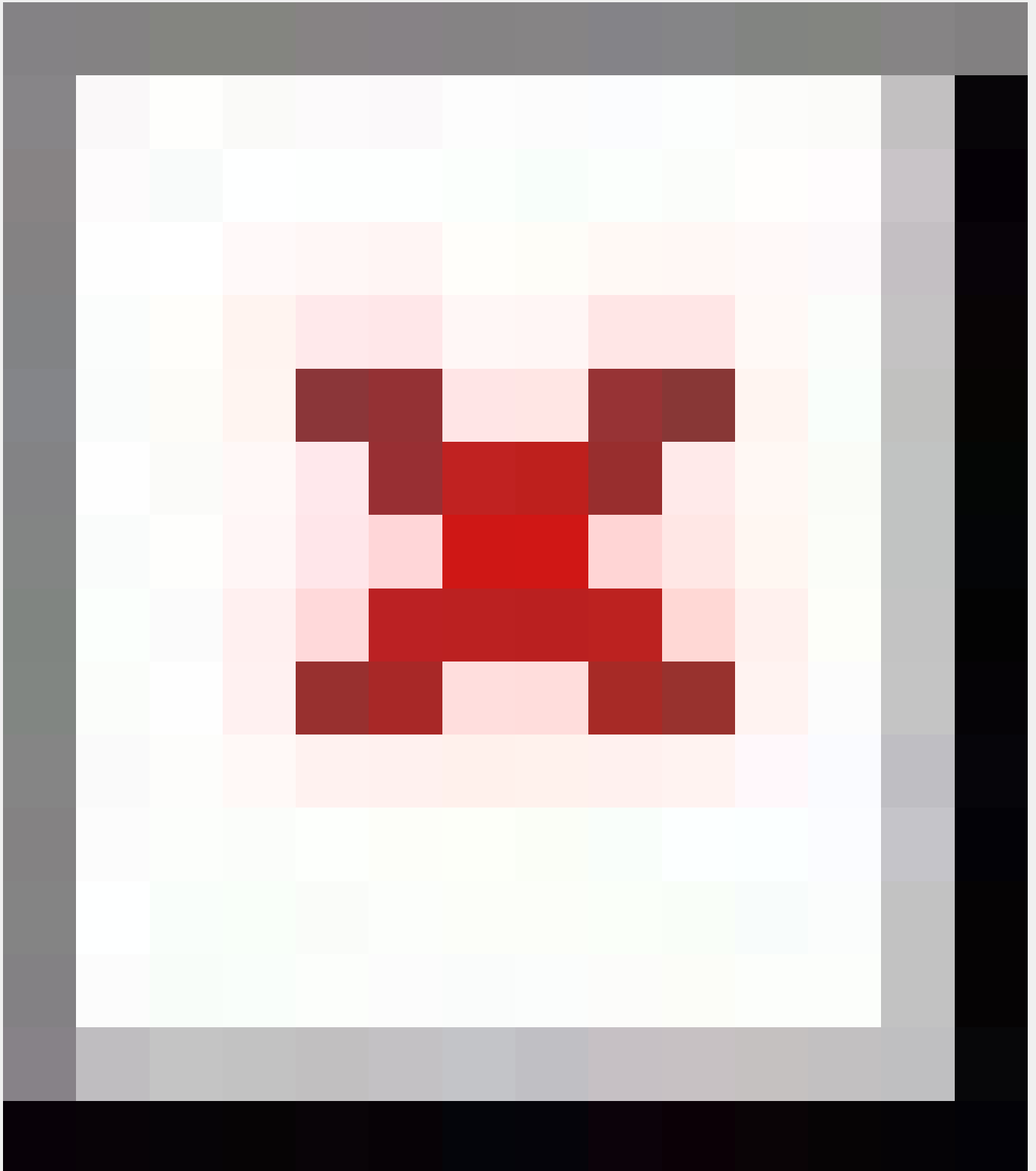
можно использовать алмазы. У синтетических алмазов есть определённые преимущества и недостатки. Преимущества в том, что они стоят дешевле, есть способы их массового синтеза, можно достаточно много камней получать за месяц, за неделю. А недостаток — это то, что они имеют окраску. Бывают жёлтыми, голубыми, розовыми, даже чёрными. Это связано с наличием примесей различных элементов. Алмаз — это углерод определённой модификации. В зависимости от условий синтеза может получиться либо графит, либо алмаз. Но если в процессе участвуют другие химические элементы, например азот или бор, то камень будет синий или жёлтый. И вот когда синтетические алмазы делают, основная проблема, которая преследует всех производителей, заключается в том, что нельзя на 100 процентов избавиться от примесей. Соответственно, получаемые камни будут иметь цвет. С точки зрения создания ювелирного украшения, это даже хорошо. Голубой алмаз! С точки зрения прикладной спектроскопии и практического приборостроения, это плохо. У алмазов огромная теплопроводность. Если алмаз использовать как подложку, на которой стоит процессор, последний греться не будет. Потому что всё тепло, которое выделяется, будет сразу уходить. Так вот, наличие окраски говорит о присутствии примесей в алмазе, следовательно, его теплопроводность снижается. В целом, ухудшаются все свойства: оптические, механические, электрические.

— И вам нужно было придумать, как избавиться от примесей?

— Да, причём именно на стадии изготовления металлического катализатора. Сейчас я поясню. Как происходит синтез алмаза? Два года назад использовался сплав железа, кобальта и титана. Есть огромная наковальня и печь, в которой создаются давление 50-70 атмосфер и температура 1400 градусов. Снизу засыпается графит, на него ставится железная чушка, которая является катализатором, кладётся маленький алмазик-затравка, и всё это со всех сторон давится. Графит при нагреве начинает растворяться в металле-катализаторе, диффундировать через него и доходить до этих маленьких затравок алмаза. И алмаз начинает разрастаться в разные стороны. Если всё правильно сделано, то кристаллы растут в направлении кристаллографических осей. Нам нужно было разработать тот самый металлический катализатор, в котором растворялся графит, чтобы в нём не было примесей. Придумать такой сплав, в котором эти примеси не диффундируют вместе с углеродом, а связываются с ними, формируя, например, карбиды. Карбид бора останется в толще. И другие примеси точно так же. А углерод, поскольку он один, лёгкий, он дойдёт — и алмаз вырастет. Такая была концепция. Был подготовлен большой объём материалов, который может обеспечить связывание примесей, и предложена концепция на основе высокоэнтропийных многокомпонентных металлических сплавов, в которых можно подобрать состав в широком диапазоне.

— Удалось это создать?

— Сплав мы сделали, изменение концентрации примесей увидели. Но «Умник» же даётся не на конкретное изделие, патент или статью, а на концепцию и её подтверждение. Концепция подтверждена, и работа ещё продолжается.



— Сколько всего у вас проектов?

— Наверное, с десятков наберётся внутри нашей лаборатории. У нас команда, которая создаётся под проект. Подтягиваем к себе людей из разных структур. Работы много,

особенно с учётом бумажного документооборота, который, конечно, очень мешает.

— Одна из особенностей конкурса *Blue sky research* — его участники должны не только предложить проект, но и суметь коротко и доступно о нём рассказать. Как бы вы охарактеризовали свою научную деятельность на языке *Blue sky research*?

— У нас достаточно большая научная группа, в возрасте от 23 до 45 лет, и каждый занимается какой-то своей темой: автоматизацией, программированием, приборостроением, нанесением покрытий, вакуумной техникой — таким образом получается, что мы как команда способны эффективно решать конкретные бизнес-задачи для разных областей промышленности — начиная с автоматизации и заканчивая химической технологией.

Екатерина Ефимова, специалист по связям с общественностью, Отдел новостного
портала

Материал взят с портала [Media Политех](#)