

## Школьники узнали, как создается наноэлектроника

Учащиеся трех школ, инженерного лицея и политехнического колледжа Новосибирской области познакомились с работой ученых Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН: выяснили, как разрабатываются современные электронные устройства, почему специалистам, создающим микроэлектронику важна чистота и как сделать качественную фотоприемную матрицу.

В самом начале экскурсии, лишь только оказавшись в институте, участники посмотрели опыты с жидким азотом, узнали, зачем используется сжиженный газ при создании полупроводниковых материалов и погрузились в мир тепловидения.

*«Для обеспечения сверхвысокого вакуума в установке молекулярно-лучевой эпитаксии при росте полупроводниковых материалов, необходим жидкий азот. Жидкий азот, заполняя криопанели установки, обеспечивает “вымораживание” остаточных газов на стенках ростовой машины, поддерживая тем самым сверхвысокий вакуум на требуемом для эпитаксиального роста уровне.*

Также жидкий азот используется при работе цеолитных насосов: при заполнении сосуда Дьюара жидким азотом и охлаждении цеолита (небольшие пористые гранулы), насос сорбирует газ (как губка воду), поступающий из откачиваемого сосуда. Еще жидкий азот используется при низкотемпературных измерениях: чтобы проявить некоторые свойства (оптические или электрофизические) полупроводников и получить параметры, интересующие физиков, полупроводниковые материалы нужно охладить до температуры жидкого азота, а в некоторых случаях даже до температуры жидкого гелия», — пояснил председатель Совета научной молодежи ИФП СО РАН, заведующий молодежной лабораторией аммиачной молекулярно-лучевой эпитаксии GaN гетероструктур на подложках кремния для силовых и СВЧ транзисторов кандидат физико-математических наук **Денис Сергеевич Милахин**.

**Артём Евгеньевич Настовьяк**, ведущий инженер-технолог лаборатории физических основ интегральной микроэлектроники ИФП СО РАН рассказал о том, что такое тепловидение, почему на развитие этой области значительно повлиял прогресс в изучении и создании полупроводников. Все участники экскурсии смогли проверить прозрачность разных материалов (например, линз в очках) для инфракрасного излучения и оценить чувствительность тепловизионного прибора, который «увидел» даже отпечатки холодных ладоней на одежде.

После вводной части экскурсанты зашли в лабораторные помещения и познакомились с разными стадиями создания, исследования, диагностики полупроводниковых материалов.

## Принцесса на горошине

*«Полупроводники — это материалы очень чувствительные к всевозможным примесям. Полупроводники иногда называют: “принцесса на горошине”. В одном кубическом сантиметре, содержится примерно  $10^{22}$ — $10^{23}$  (десять в двадцать второй - десять в двадцать третьей степени) атомов, если один атом на миллиард из этого числа будет другой, то свойства полупроводников меняются кардинально. Например, не проводил ток — начал проводить, не поглощал свет — стал поглощать или наоборот. Поэтому, когда идет речь о росте полупроводниковых материалов, очень большое внимание уделяется чистоте*

*синтеза: полупроводниковые кристаллы выращиваются в условиях сверхвысокого вакуума. Так, чтобы не было инородных молекул, которые могут попасть при росте кристаллов в пленку и изменить ее свойства», —* объяснил младший научный сотрудник лаборатории аммиачной молекулярно-лучевой эпитаксии GaN гетероструктур на подложках кремния для силовых и СВЧ транзисторов **Тимур Валерьевич Малин**.

Тимур продемонстрировал школьникам установку молекулярно-лучевой эпитаксии, в которой в этот момент происходил рост тонкой полупроводниковой пленки на основе нитрида галлия. *«Мы занимаемся ростом транзисторных структур, транзисторы на основе нитрида галлия обладают рядом преимуществ по сравнению с другими материалами и занимают свою нишу в системах космической связи, телекоммуникации, а также в силовой электронике, преобразователях напряжения».*

### **Идеальное зеркало**

В следующей лаборатории участники выяснили, как можно наблюдать рост полупроводниковых материалов в реальном времени и сделать идеальное зеркало — абсолютно гладкую поверхность.

*«С помощью сверхвысоковакуумного отражательного электронного микроскопа мы записываем в реальном времени, что происходит с поверхностью кристалла при нагреве, росте, осаждении на его поверхность других материалов», —* рассказал младший научный сотрудник лаборатории нанодиагностики и нанолитографии **Алексей Сергеевич Петров**.

Реальная поверхность кристалла представляет собой последовательность атомно-гладких террас (иначе говоря участков поверхности полностью совпадающих с кристаллографическими плоскостями), разделенных атомными ступенями.

*«Мы визуализируем процессы, происходящие на поверхности: можем работать с кремнием, добавлять германий, металлы, смотреть, что происходит. Любой посторонний материал, осаждаемый на поверхность, будет что-то с ней делать, и все эти процессы влияют на конечные физические свойства наших ростовых пленок. Это все нужно учитывать и в дальнейшем внедрять, применять уже на практике.*

*Мы разработали методику, чтобы создавать участки поверхности (размерами до 200 микрон), свободные от атомных ступеней. Это абсолютно гладкая поверхность, она действует как идеальное зеркало, отражающее практически на 100 %. Эти "зеркала" мы используем в качестве опорных зеркал в интерферометрах: так можно быстро (по сравнению с зондовой микроскопией) и с высокой точностью оценить с микро- и нанорельеф поверхности», —* добавил ученый.

В соседней комнате этой лаборатории инженер-исследователь ИФП СО РАН **Сергей Артемьевич Пономарев** продемонстрировал школьникам возможности атомного-силового микроскопа: *«Мы можем определять какой материал у нас был получен, оценить дефекты, образовавшиеся в процессе роста, изучать рельеф поверхности».*

## От атомов к электронам

Следующая установка — система фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением ARPES FlexPS дает возможность исследовать не только поверхность кристалла, но и понять, как устроена его электронная структура.

*«Наша установка позволяет изучать свойства поверхности твердых тел, исследовать послойно материалы — мы можем постепенно снимать слои с образца или, наоборот, напылять новые и смотреть, как меняются свойства с увеличением глубины. А измеряя фотоэлектронную спектроскопию с угловым разрешением (оценивая энергию и импульс электронов, которые выбиваем ультрафиолетовым излучением с поверхности кристалла), мы можем понять, как устроены электроны внутри кристалла», — пояснила Надежда Юрьевна Соловова, лаборант ИФП СО РАН, студентка 4-го курса физического факультета НГУ.*

Надежда исследует электронную структуру тонких пленок висмута на поверхности арсенида индия.

*«Висмут интересен тем, что это тяжелый элемент, и он позволяет усиливать некоторые свойства в полупроводниках. Эти свойства могут быть полезны для управления транспортом электронов в транзисторах. Здесь решается фундаментальная задача: поиск новых материалов, которые можно впоследствии применить для создания новых устройств», — прокомментировал научный руководитель Надежды кандидат физико-математических наук Владимир Андреевич Голяшов, научный сотрудник лаборатории физики и технологии гетероструктур.*

## Неразрушающий и точный контроль

Еще один метод исследования поверхности, о котором узнали школьники, отличается деликатностью и точностью — это неразрушающий способ изучения поверхности.

*«У нас в распоряжении есть спектрометр комбинационного рассеяния света и атомно-силовой микроскоп. Эти приборы, работая в синергии, позволяют нам исследовать спектры комбинационного рассеяния света с нанометровым пространственным разрешением — получать информацию об объектах размером в несколько нанометров», — рассказала Нина Николаевна Курусь, младший научный сотрудник лаборатории ближнепольной оптической спектроскопии и наносенсорики, знакомя школьников с комплексом оборудования для ближнепольной оптической спектроскопии фирмы Horiba.*

## Полупроводниковый материал выращен, продиагностирован, описан!

### А кто сделает прибор?

О технологии создания инфракрасных матриц экскурсанты узнали в лаборатории физико-технических основ создания полупроводниковых приборов на основе соединений A<sub>2</sub>B<sub>6</sub>.

*«Фотодиод работает по принципу “посветили” — побежал ток. И детектируя этот ток, мы можем говорить об интенсивности излучения, падающего на фотодиод. Из фотодиодов мы можем создать большую матрицу и измерять интенсивность не только интегрально, а уже видеть распределение*

*интенсивностей в пространстве, по аналогии с фотографией», — объяснил младший научный сотрудник лаборатории **Дмитрий Витальевич Горшков**.*

Что же нужно улучшать, чтобы совершенствовать инфракрасные фотоприемные матрицы?

*«Во-первых, проводить пассивацию поверхности: любой полупроводник мы должны закрыть диэлектриком, потому что внешняя среда для большинства полупроводников — агрессивна, и это ухудшает свойства конечного прибора. Например, качество изображения в современных цифровых камерах стало лучше за последнее время благодаря, в том числе, качественной пассивации поверхности.*

*Во-вторых, нам нужно отделять фотоприемные элементы (диоды) друг от друга. Это можно делать химическим (жидкостным) травлением, но оно травит и вглубь и вбок, уменьшая площадь фотодиода. Поэтому был придуман плазмохимический способ травления: с его помощью мы можем получить гладкую вертикальную стенку.*

*В нашей лаборатории мы как раз и занимаемся пассивированием поверхности и разработкой систем травления», — отметил ученый.*

### **Мне это интересно!**

Участницы экскурсии, ученицы химико-биологического 10-го «А» класса Школы №13 города Бердска поделились впечатлениями:

*«Мне понравились лаборатории, аппаратура, научные сотрудники, которые любят свое дело, профессионально им занимаются, хотелось бы тоже работать в научной сфере. Запомнилась лаборатория, где рассказывали про совершенство фотокамер, какие были до этого, какие стали сейчас, мне это интересно, так как я сама занимаюсь фотографией», — рассказала **София**.*

*«Мне очень понравилась аппаратура, мне нравятся сложные приборы, которые очень интересно работают и дорого стоят», — отметила **Виктория**.*

Ученику 9-го класса инженерного лицея НГТУ **Михаилу** запомнились лаборатории ближнепольной оптической спектроскопии и наносенсорики и нанодиагностики и нанолитографии: *«Нам рассказывали, что такое плазмон, показывали структуры полупроводников и рассказали, что невозможно сделать абсолютно гладкую поверхность, например, просто взяв и разрезав кристалл — всегда будут атомные ступени. В школе такого не рассказывают, а на экскурсии в научном институте я раньше не бывал».*

Самые любознательные участники: те, кто активно задавал вопросы, получили на память «частичку института» — специальный мерч (сувенирную продукцию). Яркий дизайн мерча ранее разработали специально для молодежной аудитории студенты Новосибирского государственного университета архитектуры дизайна и искусств им. А.Д. Крячкова в сотрудничестве с пресс-секретарем ИФП СО РАН Надеждой Дмитриевой и Советом молодых ученых Института.

Пресс-служба ИФП СО РАН