

# МЫ УМЕЕМ ДЕЛАТЬ ПРАКТИЧЕСКИ ВСЕ

Рассказывает руководитель лаборатории электронной микроскопии центра CIC nanoGUNE Андрей Леонидович Чувиллин



Андрей Леонидович Чувиллин – один из крупнейших специалистов-практиков в области методов электронной микроскопии. Постоянно работая за рубежом в течение уже более 15 лет – вначале в Германии, затем в Испании, он не теряет связей с российской научной общественностью, участвует в значимых конференциях по электронной микроскопии, ежегодно принимает на стажировку десятки российских молодых ученых, сотрудничает с научными группами из отечественных исследовательских центров.

## **Андрей Леонидович, почему вы выбрали местом работы nanoGUNE – исследовательский центр в стране, больше известной развитым туризмом, чем наукой?**

В 2004 году, когда недопонимание с руководством Института катализа имени Г.К.Борескова СО РАН уже не позволяло полноценно работать, я уехал в университет Ульма (Германия), а в 2009 году получил предложение возглавить лабораторию электронной микроскопии в новом институте в Сан-Себастьяне. Правительство Страны Басков в середине нулевых годов инвестировало большие средства в развитие науки и технологий. Было создано несколько систем институтов, и один из них – CIC nanoGUNE. Конечно, были некоторые сомнения в целесообразности переезда, тем более, что в те годы баскская радикальная организация ЭТА еще не сложила оружия, но в реальности условия работы оказались превосходными. Мне предоставили возможность самому выбрать приборы, поэтому лаборатория оснащена именно тем, что требуется для наших проектов. Надо сказать, что все организационные и финансовые

вопросы решались очень четко – сколько было вложено денег, на столько мы и получили оборудования – ни одного евро не исчезло в неизвестном направлении, как это нередко происходит в нашей стране. Исследовательский центр финансируется в основном правительством Басконии, около трети бюджета составляют частные инвестиции, вклад федерального правительства незначителен. В настоящее время в CIC nanoGUNE постоянно работают около 100 человек и несколько десятков приглашенных исследователей. Наша лаборатория сотрудничает с научными группами из Испании, Германии, Португалии, Италии, США, России. В частности, тесные научные связи поддерживаются с учеными из Владивостока, Новосибирска, Москвы, Санкт-Петербурга.

## **Каковы возможности и компетенции вашей лаборатории?**

Проще сказать, что не входит в круг наших задач. Мы не занимаемся биологическими объектами, поскольку там нужны весьма специфические методики пробопод-

готовки, кроме того, мы не имеем достаточного опыта получения информативных изображений биологических образцов. В системе наших институтов такими исследованиями занимается центр CIC bioGUNE, располагающий необходимыми приборами и компетенциями.

Если же вынести за скобки исследования биологических объектов, то мы умеем делать практически все. В отличие от большинства лабораторий электронной микроскопии, которые специализируются на использовании определенного набора методов в сравнительно узких областях исследований, мы изначально должны были обслуживать научные группы, занимающиеся самыми разными направлениями. Поэтому можем реализовывать на очень высоком уровне широкий спектр методов.

Основной наш инструмент – просвечивающий электронный микроскоп с корректором аберраций Titan компании FEI (в настоящее время – Thermo Fisher Scientific). Надо сказать, что вначале планировалось работать с другим поставщиком, но менеджмент FEI, в отличие от конкурентов, продемонстрировал очень высокую техническую компетентность и профессионализм, что и определило выбор в пользу этой марки. Мы используем как классическую просвечивающую электронную микроскопию, так и сканирующую просвечивающую электронную микроскопию высокого разрешения. Имеются возможности магнитной визуализации прямым методом, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии и голографии. По уровню разрешения спектрометрии характеристических потерь энергии электронами (EELS, electron energy loss spectroscopy) наша лаборатория некоторое время не имела равных в Европе. Две установки FIB (focused ion beam – фокусированный ионный пучок) позволяют проводить томографию по технологии slice and view, слой за слоем углубляясь в толщу материала. В течение трех лет мы помогали FEI в создании исследовательских методик, и одна из ионных приставок подверглась значительным доработкам, что расширило возможности. Также мы можем проводить исследования in situ в условиях высоких температур и пропуская через образцы электрический ток – для этого имеются специальные держатели. Есть успешный опыт использования напыления и получения трехмерных структур, например, совместно с EFI разработан метод выращивания кобальта.

Что касается основных проектов, то много занимаемся полупроводниковыми приборами. Научная группа, с которой мы работаем, создает наноструктуры, регистрирует их физические свойства, а наша задача – проверка структуры.

Интересные результаты получены в области металловедения. В частности, удалось установить природу эффекта, когда при возрастании скорости резания стали в определенный момент происходит качественный скачок – снижается необходимое усилие и меняется вид стружки. Выяснилось, что при определенной температуре в зоне резания происходит активация диффузии атомов на границах зерен, последние получают способность поворачиваться, и это приводит к значительному уменьшению трения и снижению напряжений. Кроме того, на режущей кромке образуется высокостабильный жесткий "нарост", который выдерживает напряжения в разы больше, чем материал обрабатываемой заготовки. Таким образом, эффективность резания определяется в боль-

## *По уровню разрешения EELS наша лаборатория – одна из лучших в Европе*

шей степени стабильностью этого нароста, чем остротой режущего инструмента. В рамках проекта для проведения исследований процесса резания in situ в микроскоп помещалась мини-модель фрезерного станка. Помимо этого, изучаем воздействие термообработки на структуру металлов, а также процессы 3D-печати металлическими порошками.

Еще одна группа проектов касается исследования латексов: связующих для красок, специальных составов с дополнительными компонентами, например – оксидом титана как фотокатализатором для очистки воды от органических примесей и оксидом железа как магнитным компонентом для извлечения катализатора.

Большой потенциал для практических приложений – от создания сенсоров до накопителей энергии – имеют исследования в области оптики ближнего ИК-диапазона. Здесь мы изучаем плазмонные эффекты – их можно возбуждать как оптическим излучением, так и электронным пучком, причем в электронном микроскопе достигается хорошее спектральное разрешение.

Есть свои разработки в области изучения магнитных свойств материалов: используем голографические методы, смотрим магнитные поля с разрешением около 10 нм.

И, наконец, с использованием FIB создаем поверхностные наноструктуры, например путем ионного травления

слоя, напыленного на поверхность оксида кремния или другого материала.

### **Проекты, в которых вы участвуете, доводятся до создания коммерческих продуктов?**

CIS nanoGUNE изначально был ориентирован на фундаментальные исследования, однако сейчас чиновники начали требовать участия в коммерческих разработках и развития связей с промышленностью. Пока это дается не без труда, но несколько проектов у нас в активе есть. Например, мы помогли в улучшении биодизельного топлива, изучали инжектор дизельного двигателя, чтобы понять природу и причины его загрязнения.

Еще один проект реализован в сотрудничестве с компанией, разрабатывающей устройства для измерения прецессионной дифракции электронов (precession electron diffraction, PED) – метода, при котором электронный пучок вращается под углом к оптической оси электронного микроскопа, что позволяет регистрировать специфическую дифракционную картину. Такие системы традиционно используются в кристаллографии, в том числе кристаллографии биомолекул, но их совершенствование позволяет находить новые ниши. Например, в комбинации с EELS прецессионные приставки могут применяться для идентификации полимеров в разработке и производстве косметических средств и лекарств.

## **Одна из главных тенденций – рост автоматизации настроек и обработки данных**

### **Каковы перспективы и тенденции развития приборов и методов электронной микроскопии?**

В развитии электронных микроскопов можно отметить несколько ключевых моментов. Около 35 лет назад появились полевые электронные пушки, которые позволили повысить разрешение и яркость пучка, что дало импульс развитию сканирующей микроскопии. В начале 2000-х произошел, вероятно, самый значительный технический прорыв – приборная реализация корректоров аббераций. Несколько лет назад появился высокоразрешающий спектрометр EELS, который позволил не только смотреть на отдельные атомы, но и проводить их химическую и физическую характеризацию. Что касается повышения разрешения, то в кулуарах уже достаточно давно

звучит крамольная мысль, что оно уже физически невозможно, и достигнутый уровень в 50 пм является пределом.

Сейчас одна из главных тенденций – рост автоматизации настроек и обработки данных. Цель – предоставление максимально широкому кругу пользователей возможности получения качественных, готовых к публикации результатов, в идеале – по нажатию одной кнопки. Здесь надо сказать, что рост автоматизации значительно расширяет возможности практического применения электронной микроскопии. Еще недавно микроскописты не брались за задачи, требовавшие при ручных настройках, скажем, нескольких недель только для получения первичных данных. Но если есть автоматическая система, которую можно оставлять в автономном режиме работать на ночь, то такие задачи становятся практически решаемыми. Соответственно, открываются новые, недоступные ранее области исследования. Например, использовать метод криоэлектронной микроскопии без автоматической обработки данных, объемы которых исчисляются петабайтами, практически невозможно.

Ту же тенденцию можно отметить в области пробоподготовки. Еще шесть-семь лет назад подготовка образца с помощью FIB была высоким искусством, а сейчас она постепенно упрощается. Все идет к тому, что скоро можно будет просто указать необходимую область, нажать кнопку, и через несколько часов получить готовый образец.

Думаю, что в будущем важным направлением станет развитие исследований *in situ* путем дооснащения микроскопа специальными держателями. Компании, которые десять лет назад начали разрабатывать такие держатели, сейчас на очень большом подъеме.

В перспективе, возможно, появятся специальные версии микроскопов с установками FIB, которые будут интегрироваться с оборудованием полупроводниковых производств, например, с установками молекулярно-лучевой эпитаксии. При топологических размерах менее 10 нм электронный микроскоп становится просто необходим для контроля процессов и качества продукции.

### **Насколько вероятно ваше возвращение и продолжение работы в России?**

Возвращение имеет смысл, если появится возможность работать в нормальных условиях. Например, есть идея собрать хорошее оборудование в одном месте и сделать единый лабораторный центр, который будет на высоком уровне обслуживать всю отечественную науку. Необходимые специалисты есть, сейчас они рассеяны по всему миру, но собрать их вполне реально. Расходы на строительство здания и создание инфраструктуры окупятся за счет повышения качества анализа и эффективности исполь-

зования приборов. Сейчас приборы разбросаны по научным учреждениям и используются крайне неэффективно, часто просто неправильно, что приводит к их поломкам и простоям. Существующая политика выделения средств на покупку оборудования отдельным институтам в целом привела к плачевным результатам. Можно отметить разве что достаточно высокий уровень жизни ученых, особенно, имеющих доступ к распределению средств. Однако на оборудование и собственно научную работу денег постоянно не хватает. К сожалению, пока организация единого лабораторного центра остается на уровне идеи. Учреждения, от которых зависит ее практическая реализация, занимают "перетягиванием одеяла".

В целом есть смысл определиться, хотим ли мы развивать фундаментальную науку. Институты, в которых фундаментальные исследования не соответствуют мировому уровню, целесообразно репрофилировать в центры прикладных исследований. Думаю, это вполне реально, и люди будут рады делать что-то полезное, находящее практическое применение. Практика создания при институтах академии наук отделений, занимающихся коммерческими проектами, не может быть эффективной, потому что неизбежен дефицит денег со всеми вытекающими проблемами. Репрофилирование всего института – более логичное решение. На выходе такой центр должен выдавать патентные заявки и спинофы.

#### **Одна из спорных, вероятно, не имеющих оптимального решения проблем – оценка качества работы ученого. Что думаете вы по этому поводу?**

Действительно, нет системы, которая позволяла бы адекватно оценивать качество научной работы. Чиновники упрощают себе жизнь, придумывая требования к количеству публикаций, причем необходимость обеспечить определенный процент статей в первом квартале научных журналов, очевидно, не идет на пользу делу. Получается, что мне невыгодно участвовать в исследованиях, по которым нет гарантии публикации в топовых изданиях, потому что тогда будет проблематично обеспечить требуемый процент. Даже если такие проекты интересны и перспективны. Без сомнения, центр может хорошо работать, выдавать результаты, которые будут быстро находить практические приложения, и без большого числа публикаций в журналах с высоким импакт-фактором.

К сожалению, существующая сегодня система оценки поощряет формальный подход к работе и карьеризм. А в проигрыше оказываются талантливые люди, не умеющие себя презентовать и продвигать. Последнее особенно характерно для российских молодых ученых, поскольку в традиции нашей научной школы почему-то не входит обучение красиво представлять результаты своей работы.

Типичная манера доклада российского ученого на конференции – "как много я сделал", вместо того, чтобы объяснить, зачем сделал, почему именно так и чем это лучше в сравнении с другими. При этом ребята у нас очень грамотные и работоспособные, готовые трудиться в команде и ставящие во главу угла дело, а не показательные результаты. В европейских научных центрах, привлекающих на стажировку людей со всего мира, это особенно заметно. Типич-

## **Пора понять, что современный ученый должен быть интегрирован в международное научное сообщество**

ная картина: приезжает из России молодой ученый, и за три месяца успевает сделать то, чего несколько китайцев не могли добиться за год. При этом у него всего пара научных статей, а у них списки достижений, включая публикации, рецензирование и т.п. Вернувшись на родину, наш так и останется молодым ученым, а китаец получит звание профессора и будет прекрасно устроен.

Здесь следует сказать еще об одной проблеме российской науки – нерациональном распределении средств, когда огромные деньги выделяются на мегагранты и недостаточные – на стажировку молодежи за рубежом. Привлеченный мегагрантом ученый приезжает в Россию, создает лабораторию, пусть даже передовую, но после его отъезда она неизбежно развалится. Значительно полезнее потратить эти средства на отправку наших подающих надежды ученых на длительную стажировку за рубеж, чтобы они успевали начать собственные проекты, обрести связи, а по возвращении могли создать свою научную группу и/или возглавить лабораторию. Трех месяцев стажировки, как это сейчас практикуется, совершенно недостаточно. Кроме того, пора уже перестать считать уехавших за рубеж на длительный срок "врагами народа". В Германии есть негласное правило, согласно которому невозможно получить звание профессора без стажировки в США. Нам тоже пора понять, что современный ученый должен быть интегрирован в международное научное сообщество.

**Спасибо за интересный рассказ.**

С.А.Л.Чувилиным беседовали  
Д.Ю.Гудилин и О.А.Шахнович