

Когда важное на поверхности

Автор: **Юлия СМЕРНОВА**

Узнать больше о межатомных взаимодействиях и свойствах материалов на поверхности ученым СПбГУ помогает уникальный комплекс «Нанолаб». Он позволяет проводить исследования поверхностей твердых тел в условиях сверхвысокого вакуума методами фотоэлектронной спектроскопии и сканирующей зондовой микроскопии.

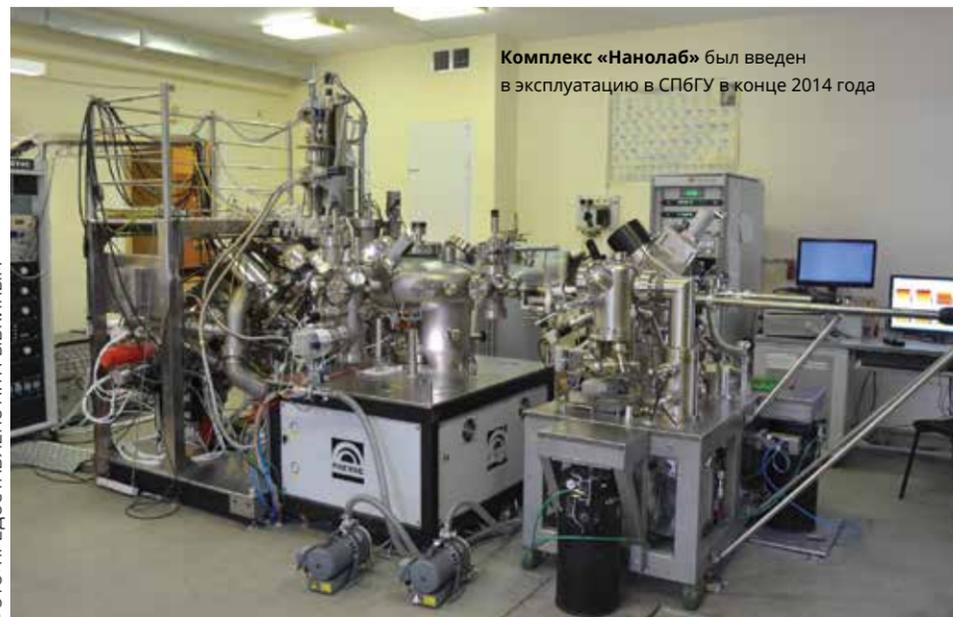
Исследование поверхности твердых тел и низкоразмерных структур является важной задачей современной науки и техники. Кроме фундаментального интереса данные исследования имеют и прикладной характер — это развитие нанотехнологий. Любое твердое тело имеет поверхность. По сути это сверхтонкий слой, обладающий своей собственной кристаллической и электронной структурой, с новыми свойствами двумерного материала. Синтез наноструктур на поверхности твердого тела с заданной атомной структурой путем контролируемого манипулирования отдельными атомами и молекулами позволяет получать новые материалы с уникальными свойствами.

«Объектом исследования для нас являются поверхности твердых тел. Поверхность — это несколько атомных слоев толщиной порядка единиц и десятков нанометров. Материал может быть как искусственно созданным, так и природным. Для исследования очень важна предварительная подготовка поверхности,

удаление адсорбированных молекул газа с поверхности и дальнейший синтез в условиях сверхвысокого вакуума, если требуется», — рассказывает Артем Геннадиевич Рыбкин, кандидат физико-математических наук, директор ресурсного центра СПбГУ «Физические методы исследования поверхности», в котором и размещен комплекс «Нанолаб», кандидат физико-математических наук.

Научно-исследовательская платформа «Нанолаб» представляет собой модульную конструкцию, которая состоит из

задачи синтеза нанообъектов с детализацией процессов на атомарном уровне. Используя «Нанолаб», можно проводить анализ особенностей электронной энергетической и спиновой структуры нанообъектов, что способствует созданию прорывных технологий и проведению научных исследований в самых современных и актуальных направлениях нанoeлектроники и спинтроники. «Мы объединили методы зондовой микроскопии и фотоэлектронной спектроскопии в одном приборе. Все исследования проводятся в сверхвы-



Комплекс «Нанолаб» был введен в эксплуатацию в СПбГУ в конце 2014 года

ФОТО: ПРЕДОСТАВЛЕНО А. Г. РЫБКИНЫМ

двух частей, спроектированных разными компаниями совместно с представителями коллектива РЦ. Обе части установки, в свою очередь, состоят из целого набора модулей, которые все вместе позволяют решать нанодиагностические задачи и

соком вакууме (при давлении $1-2 \cdot 10^{-10}$ мбар). Дизайн и геометрия исследовательских камер позволяют проводить уникальные эксперименты для широкого класса объектов», — говорит Артем Рыбкин. В результате приборная база включает в себя

более десятка сложных методик спектроскопии и визуализации, которые позволяют отображать процессы, протекающие на наноуровне на поверхности исследуемых объектов.

ЗАЙМЕМСЯ МОДЕЛИРОВАНИЕМ

Одной из задач, решаемых в комплексе «Нанолаб», является исследование искусственно созданных систем. Речь идет о физических экспериментальных моделях, с помощью которых можно изучать реальные процессы. Досконально изучив необходимые свойства и качества нескольких атомов и молекул и проанализировав взаимодействия между ними, исследователи получают представление о том, какими свойствами будут обладать стоящие из них материалы.

Например, в каталитической химии в последние годы популярно моделирование: искусственно создаются системы, на которых исследуется механизм действия катализатора. Особенно актуальны такие исследования в гетерогенном катализе. Каталитическая реакция имеет наибольший выход при определенных размерах кластеров, которые составляют десятки атомов или молекул. Чтобы смоделировать, как поведут себя атомы и молекулы веществ, участвующих в реакции с таким катализатором, и нужны приборы типа «Нанолаб».

Такие физические свойства, как теплопроводность и электропроводность, определяются строением материала. При помощи фотоэлектронной спектроскопии можно исследовать химическую природу вещества и его электронную структуру: валентные (более удаленные от ядра) и остовные (те, что ближе к ядру) электроны. Исследуя энергию связей остовных уровней, можно сказать, какой это элемент, а исследуя их фотоэлектронную интенсивность — в каком количестве он присутствует на поверхности. Зная химический сдвиг, можно говорить и о том, в каком соединении находится элемент.



Артем Геннадиевич РЫБКИН, директор ресурсного центра СПбГУ «Физические методы исследования поверхности», к. ф.-м. н.

Исследуя валентные электронные уровни, можно узнать тип соединения — металл или диэлектрик, спрогнозировать поверхностную проводимость.

Если есть какие-то точечные дефекты, например, один атом в решетке заменен на дру-

гой, то при этом меняется электронная структура материала. На что влияет замена одного атома? Меняются связи между атомами, меняется структура валентных состояний. Замена всего лишь небольшого количества атомов может повлиять на электронную структуру всего материала, а следовательно, и на его свойства. Это очень важно учитывать при работе с примесями. При их наличии кристаллическая структура меняется, поверхность может перестраиваться, но этот процесс должен быть контролируемым. И на каждом этапе электронная структура должна диагностироваться, и только в этом случае можно достоверно охарактеризовать исследуемый материал.

КСТАТИ

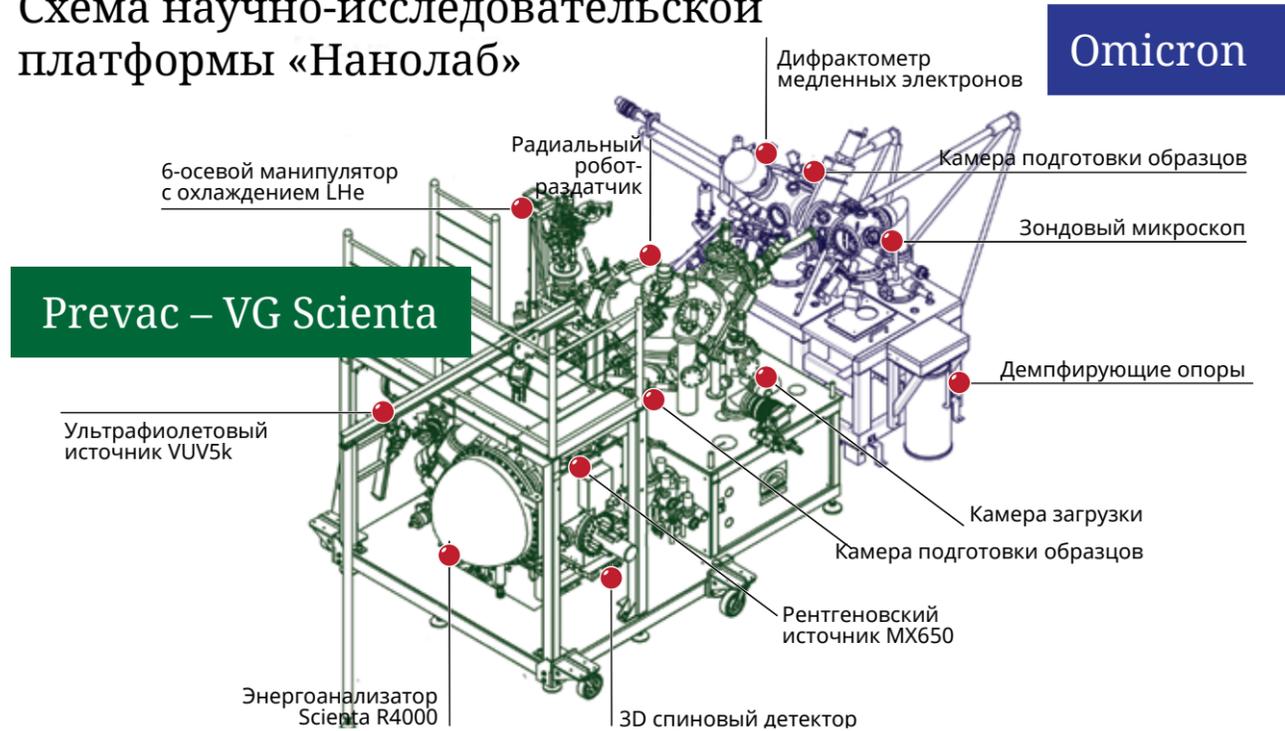
Ресурсный центр «Физические методы исследования поверхности» предназначен для проведения научно-исследовательских работ в условиях сверхвысокого вакуума, посвященных исследованию поверхностных наноструктур и композитных материалов, анализу локальной атомной структуры и морфологии, особенностей электронной энергетической и спиновой структуры. Основными экспериментальными методами являются: Оже-электронная спектроскопия, рентгеновская и ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия, а также сверхвысоковакуумная туннельная и атомно-силовая микроскопия. Темы исследований центра ФМИП находятся на стыке таких дисциплин, как химия, физика, биология и материаловедение.

КАК ИССЛЕДОВАТЬ АТОМЫ?

Как синтезировать и исследовать систему, состоящую из нескольких атомных слоев, или из кластеров нескольких атомов, или квантовых проволок и точек? В процессе измерения происходит воздействие на объект исследования, которое тем или иным образом влияет и на результат. Когда речь идет об исследованиях на атомарном уровне, процесс подготовки и схема физического эксперимента имеют ключевое значение.

«Нанолаб» позволяет работать с разными материалами — с кристаллами металлов, полупроводников, диэлектриков, биологическими объектами. Для каждого образца есть своя особая процедура пробоподготовки, которая включает в себя теоретическую и практическую части. Сперва нужно учесть все возможные свойства и взаимодействия, которыми обладает образец и материалы, с которыми он будет взаимодействовать — держатель, на котором он будет закреплен, способы крепления.

Схема научно-исследовательской платформы «Нанолаб»



«Когда приходят пользователи с новыми задачами, приходится вникать во все тонкости. Так просто провести измерения сложно, нужна правильная постановка задачи. Для биологических систем, к примеру, сканирующая туннельная микроскопия может не подойти в качестве метода исследова-

кислорода и кратковременно нагреваются до 2000°C, кроме того, поверхность может подготавливаться методом скота в вакууме, так она получается идеально чистой и без адсорбированных молекул газа.

В итоге на пробоподготовку может уходить больше времени, чем на само исследование.

Перемещение образца между модулями осуществляется при помощи ручных манипуляторов, работа с которыми требует большого опыта.

ОТ ИССЛЕДОВАНИЙ К ТЕХНОЛОГИЯМ

Исследование поверхностей напрямую сопряжено с изучением свойств наноструктур и композитных материалов, а это путь от исследований к технологиям. К примеру, можно сделать один транзистор из одного атома кремния, а потом сделать миллион таких и их соединить? «Проблема многих инноваций в том, чтобы создать хорошо воспроизводимую технологию, — рассуждает о перспективах исследований Артем Рыбкин. — Крупные компании имеют исследовательские отделы, которые, например, занимаются разработкой устройств наноэлектроники, мы же, в свою очередь, имеем все возможности и ресурсы для проведения фундаментальных исследований и создания технологий, которые могут быть применены при разработке подобных устройств».

Spintronics

Спинтроника (spintronics) — это область квантовой электроники, в которой для физического представления информации наряду с зарядом используется спин частиц, связанный с наличием у них собственного механического момента.

ния, потому что они, как правило, не проводят электрический ток. Тут используется другой режим — сканирующая атомно-силовая микроскопия», — рассказывает о тонкостях работы Артем Рыбкин.

Например, с монокристаллов переходных металлов верхние слои стравливаются пучком ионов аргона, монокристаллы тугоплавких металлов отжигаются в атмосфере

Хорошо, когда у пользователей есть опыт подобной работы со своим материалом, в других случаях вся подготовка, в том числе теоретическая, ложится на плечи коллектива ресурсного центра, который работает по принципу «один прибор — один сотрудник» — так риск сделать ошибку сведен к минимуму.

Пробоподготовка происходит уже внутри установки, в условиях сверхвысокого вакуума.