



# ПРИКЛАДНЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ: ОТ НАНОМЕТРОЛОГИИ ДО НАНОЛИТОГРАФИИ

## APPLIED NANOTECHNOLOGY, FROM NANOMETROLOGY TO NANOLITHOGRAPHY

Д.Гудилин / dug@list.ru  
D.Cudilin

Передовые разработки в большинстве сфер деятельности так или иначе связаны с наноразмерными структурами и объектами, исследованиями которых в нашей стране занимаются в основном научные учреждения. К сожалению, слабая связь между наукой и промышленностью нередко приводит к тому, что результаты фундаментальных работ остаются невостребованными. Тем ценнее опыт организаций, которые ведут исследования в области нанотехнологий, ориентированные на практику и коммерческую реализацию.

Cutting-edge developments in the majority of activities are in one way or another related to nanoscale structures and objects, in studying which research institutions are mainly involved in our country. Unfortunately, the weak link between science and industry often leads to the fact that the results of the fundamental works remain non-demanded. In this context, the experience of the organisations, which conduct research in the field of nanotechnology and focus on practical use and commercial implementation, is quite valuable.

**М**ы уже писали о разработках московской компании "НАНО-АТТО Метрия" в области метрологии (см.: "Наноиндустрия", 2015, № 5(59), с. 74–80 и № 7(61), с. 50–52, а также статью А.Потемкина в текущем номере на с. 8–13). Однако кроме исследования и изготовления мер перемещения лаборатория компании работает еще над несколькими многообещающими проектами.

### НАНОЭТАЛОНЫ И ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ

Меры перемещения на основе монокристаллического материала с обратным пьезоэффектом изменяют свои размеры прямо пропорционально величине управляющего напряжения. В зависимости от направления электрического поля и ориентации кристаллографических осей монокристалла, поверхности могут перемещаться в разных плоскостях, благодаря чему специалисты "НАНО-АТТО Метрия" смогли создать горизонтальные и вертикальные меры для калибровки зондовых и электронных микроскопов, а также другого измерительного и технологического оборудования.

Для производства мер перемещения компания использует монокристаллы российского производства. На монокристалл напыляются электроды, после чего выполняется калибровка, корпусирование и проверка на стабильность характеристик во времени. Последняя не должна превышать 1–2%,

то есть статистической погрешности измерений. Срок службы мер не определен, так как первые эталоны, собранные более пяти лет назад, до сих пор стабильны. Тем не менее, рекомендуется раз в несколько лет выполнять поверку эталонов.

Для измерения перемещения отсчетных поверхностей мер разработаны оптические интерферометры на базе полупроводниковых лазеров российского производства. Стабилизация лазерного излучения брэгговской и цезиевой ячейками обеспечила уменьшение относительной нестабильности частоты до  $10^{-8}$ . По словам сотрудников лаборатории, минимальное перемещение, которое в настоящее время удалось измерить на интерферометрах, составляет 3 пм. "НАНО-АТТО Метрия" выпускает несколько типов интерферометров, которые могут применяться для различных задач.

Меры перемещения компактны и комплектуются разработанным компанией электронным блоком управления, который позволяет генерировать импульсы заданной формы.

### СКАНИРУЮЩИЙ БЛИЖНЕПОЛЬНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ МИКРОСКОП И НАНОПИНЦЕТ

Одним из перспективных проектов с применением интерферометров стало создание сканирующего ближнепольного оптического микроскопа для измерений на отражение. "Преодоление



Сотрудники компании "НАНО-АТТО Метрия": Петр Лускинович, Прохор Колев, Андрей Шавыкин, Александр Шавыкин, Александр Диков

Employees of NANO-ATTO Metria: Petr Luskinovich, Prokhor Kolev, Andrey Shavykin, Alexander Shavykin, Alexander Dykov

дифракционного предела и оптические измерения с нанометровым разрешением – идея, которой уже много десятков лет, но пока на рынке представлены только приборы, работающие

на просвет", – рассказывает ведущий инженер компании "НАНО-АТТО Метрия" Александр Диков. В прототипе прибора использованы привод и система управления от сканирующего

**P**reviously, we wrote about the development of the Moscow company NANO-ATTO Metria in the field of metrology (see Nanoindustry, 2015, No 5 (59), p. 74–80 and No 7 (61), p. 50–52 as well as the article of A.Potemkin in the current issue on pp. 8–12). However, in addition to studying and producing displacement measures, the company also works on several promising projects.

### NANO-MEASURES AND INTERFEROMETERS

The displacement measures based on the single-crystal material with a reverse piezoelectric effect change their size directly proportional to the control voltage. Depending on the direction of the electric field and crystallographic

orientation of the single crystal axes, the surface can move in different planes. Thus allowing the professionals of NANO-ATTO Metria to create horizontal and vertical measures to calibrate the probe and electron microscopes, and other measuring and process equipment.

For the production of displacement measures the company uses single crystals produced in Russia. Electrodes are deposited on single crystals, and then calibration is performed, packaging and checking the stability of characteristics in time. The latter should not exceed 1–2%, that is the statistical measurement error. The life of the measures is not defined as the first standards manufactured more than 5 years ago are still stable. However, it is

recommended to check measures every few years.

To measure the displacement of the reference surface of measures, optical interferometers based on the Russian-made semiconductor lasers were designed. Stabilisation of the laser radiation by the Bragg and cesium cells provided a decrease in the relative frequency instability to  $10^{-8}$ . According to the laboratory staff, the minimum displacement, which can be measured with interferometers, is 3 pm. NANO-ATTO Metria produces several types of interferometers, which can be used for various purposes.

Displacement measures are compact and equipped with an electronic control unit developed by the company; it can



*Демонстрация разработок компании  
Demonstration of products*

generate pulses of a pre-determined shape.

### **SCANNING NEAR-FIELD OPTICAL MICROSCOPE AND NANO-TWEEZERS**

A potential project involving interferometers was the creation of a near-field scanning optical microscope for reflection measurements. "Overcoming the diffraction limit and optical measurements with nanometer resolution represent a concept that has been in place for many decades, but only devices for transmission measurements are presented on the market", says a leading engineer at NANO-ATTO Metria Alexander

Dykov. In the device prototype the drive and control system of the FemtoScan scanning probe microscope produced by the Advanced Technologies Center is used. Currently, the resolution of 60 nm is achieved, and efforts to improve it are being taken. In particular, the urgent task is to improve the probe.

Also based on the prototype of the scanning near-field optical microscope the so-called "nano-tweezers" are being developed which allow to manipulate nanoscale objects. The idea is to apply the electrode to the tip of the probe in order to capture the object with an electric field. This contactless technology is

well suited for working with nanoparticles of various nature including biological items.

### **NANOLITHOGRAPHY**

In the 1990s, the Delta Research Institute conducted research into surface modification and creation of nanoscale structures on films using nanolithography. As the Research Institute was closed, the project was run by the NANO-ATTO Metria.

The process unit, a lithograph based on the scanning tunnelling microscope modified for high-voltage (tens of volts) and aggressive environment. The machine generates electrical pulses, and gas-phase



зондового микроскопа "ФемтоСкан", выпускаемого московским НПП "Центр перспективных технологий". В настоящее время достигнуто разрешение 60 нм и ведутся работы по его улучшению. В частности, актуальной задачей является усовершенствование зонда.

Также на базе прототипа сканирующего ближнепольного оптического микроскопа разрабатывается так называемый "нанопинцет", который позволит манипулировать наноразмерными объектами. Идея состоит в нанесении на острие зонда электродов, чтобы захватывать объект электрическим полем. Эта бесконтактная технология хорошо подойдет для работы с наночастицами разной природы, включая биологические объекты.

### НАНОЛИТОГРАФИЯ

В 1990-х годах в НИИ "Дельта" велись исследования модификации поверхностей и формирования наноразмерных структур на пленках с применением нанолитографии. После закрытия НИИ проект продолжился в компании "НАНО-АТТО Метрия".

Технологическая установка – литограф на базе сканирующего туннельного микроскопа, который доработан для использования высокого напряжения (десятки вольт) и агрессивных сред. Машина генерирует электрические импульсы, и в технологической атмосфере происходит осаждение

из газовой фазы с формированием на подложке заданной структуры. Одноразовые зонды из вольфрамовой проволоки с протравленным острием изготавливаются в лаборатории компании. Разрешение зависит от остроты иглы зонда и может достигать 3 нм. Объекты наименьших размеров удается получить на углеродных пленках. За годы исследований подобраны оптимальные материалы подложек, газовые смеси, технологические режимы.

Разработанная компактная установка снабжена вакуумной системой, но процесс не требует высокого вакуума и может быть реализован при нормальном давлении в газовой атмосфере. Технология безопасна для людей и не требует использования опасных химических веществ. По словам главного технолога Андрея Шавыкина, для повышения скорости можно создать систему с независимым управлением несколькими десятками параллельно работающих зондов.

Получаемые структуры могут использоваться в производстве устройств хранения данных, нанoeлектронике, фотонике. Так, разрешение до 3 нм обеспечивает высокую плотность записи, а при применении углеродных носителей информация может храниться столетия. В сфере нанoeлектроники интересна возможность создания новых классов устройств, например, на базе квантовых эффектов. Изготовление оптических

deposition with the generation of a given structure on a substrate take place in the processing atmosphere. Disposable probes of tungsten wire with an etched tip are made in the company's laboratory. Resolution depends on the sharpness of the probe needle and can reach 3 nm. Items of the smallest sizes can be obtained on the carbon films. Through years of research, optimal substrate materials, gas mixtures and process modes were selected.

The developed compact unit is provided with a vacuum system but the process does not require high vacuum, and can be implemented at normal pressure in

the gas atmosphere. The technology is safe for humans, and it does not require the use of any hazardous chemicals. According to the chief process engineer Andrey Shavykin, in order to improve the speed, it is possible to create an independent system to control several tens of parallel probes.

The resulting structures can be used in the production of data storage devices, nanoelectronics and photonics. Thus, the resolution of up to 3 nm provides a high recording density, while when using carbon media data can be stored for centuries. In the field of nanoelectronics it is challenging to create new classes of

devices, for example, based on quantum effects. Manufacture of optical elements is also quite a promising area.

Currently, some experiments to transfer material to the surface from the tip of the probe are in progress. This technique may find application in the manufacture of nanoelectronic devices as well as in 3D-printing.

Now, not all the projects of the NANO-ATTO Metria, which we have briefly described in this publication, are close to the stage of commercial products but they are implemented by the people focusing on the final outcome, which is an essential precondition for success. ■



Представление новых технологий  
Presentation of new technologies

элементов также является весьма перспективной областью.

В настоящее время ведутся опыты по переносу материала на поверхность с острия зонда. Такая технология может найти применение в изготовлении нанoeлектронных устройств, а также в 3D-печати.

Пока далеко не все проекты компании "НАНО-АТТО Метрия", о которых мы кратко рассказали в настоящей публикации, близки к стадии выпуска коммерческих продуктов, но они реализуются заинтересованными в конечном результате людьми, что является важнейшим условием успеха. ■

## МОНОКРИСТАЛЛ УДВОИТ МОЩНОСТИ ПО ПОЛИРОВКЕ ПЛАСТИН

"Монокристалл", дочерняя компания многоотраслевого промышленного холдинга "Концерн Энергомера", объявил о планах значительно увеличить мощности по полировке пластин к концу 2016 года. В ответ на растущий в отрасли спрос на пластины большого диаметра (4 и 6 дюймов), мировой лидер в области выращивания и обработки синтетического сапфира планирует нарастить мощности по полировке до 14 млн. ПИЕ (условных двухдюймовых пластин) к концу 2016 года.

В прошлом году отгрузки полированных пластин большого диаметра компании выросли на 30%, а мощности по выращиванию кристаллов сапфира достигли 53 млн. ПИЕ. Все это позволило "Монокристаллу" подтвердить статус крупнейшего производителя синтетического сапфира в мире.

"2015 год был напряженным для всей сапфировой отрасли, и некоторым ключевым игрокам пришлось уйти с мирового рынка. Однако "Монокристаллу" удалось увеличить свою долю благодаря снижению издержек и технологическим достижениям. В 2016 году мы сохраним этот темп и будем стремиться наращивать производственные мощности, чтобы оказать поддержку нашим клиентам, обеспечивая надежные поставки высококачественных пластин большого диаметра", – прокомментировал планы компании генеральный директор Олег Качалов.

Компания "Монокристалл"