



## "НАНОПАЛЬЦЫ" ДЛЯ НАНОИНЖЕНЕРОВ

В.Коледов\*, д.ф.-м.н. / victor\_koledov@mail.ru

В России впервые создан инструментарий для исследователей и наноинженеров, который позволяет выполнять трехмерное манипулирование наночастицами. Работать с наноинструментами также просто и удобно, как с обычными элементами в макромире. Проект развивается Центром нанотехнологий и наноматериалов Республики Мордовия.

**К**омандой ученых из ИРЭ РАН, МИСиС, МИФИ и МФТИ разработана линейка уникальных миниатюрных инструментов на основе функциональных материалов с эффектом памяти формы. Новые микро- и наномеханические инструменты – нанопинцет, нано-захват, нано плоскогубцы и другие – дают возможность манипулирования нанообъектами, что может быть использовано во многих областях промышленности и науки. Закрепленные на кончике микроманипулятора наноинструменты можно сравнить с "нано пальцами", которые позволяют совершать сверхточные операции на наноуровне.

### ЭФФЕКТИВНОЕ МАНИПУЛИРОВАНИЕ НАНООБЪЕКТАМИ

Обычно в микроскопах используется манипулятор, который может передвигать нанообъект только в одной плоскости. Для перемещения по нескольким координатам и других операций, как правило, используются как минимум два манипулятора, которые необходимо вначале присоединять к нанообъектам, а после завершения манипуляций – отсоединять. В результате, подготовительные операции занимают от 20 минут до двух часов, что существенно ограничивает скорость исследований и преобразований нанообъектов.

Новые наноинструменты обеспечивают функционирование всех процессов в реальном времени без потерь на предварительные операции. Возможно манипулирование по трем координатам микро- и нанообъектов с размерами от 30 до 300 нм, включая перемещение, рассоединение связанных объектов (например, отделение наночастицы

\* Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН.

## "NANO-FINGERS" FOR NANOENGINEERS

V.Koledov\*, D.Sc. / victor\_koledov@mail.ru

In Russia, for the first time created a toolkit for researchers and nanoengineers, which allows you to perform three-dimensional manipulations of nanoparticles. The work with nanoinstruments also easy and convenient as with a conventional macroelements. The project develops the Centre of Nanotechnologies and Nanomaterials of the Republic of Mordovia.

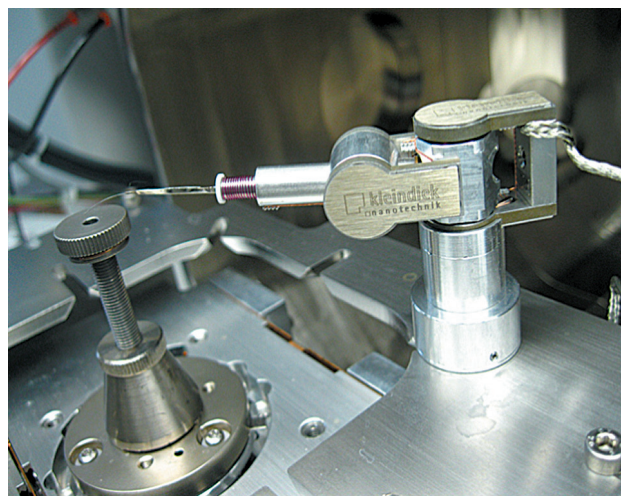
**A** team of scientists from Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, National University of Science and Technology MISIS, Moscow engineering physics Institute and the Moscow Institute of Physics and Technology has developed a range of unique miniature instruments on the basis of functional materials with shape memory effect. New micro- and nanomechanics tools – nano-pincers, nano-gripper, nano-pliers – allow you to manipulate nano-objects, that can be used in many fields of industry and science. Attached to the tip of the micromanipulator nanoinstruments can be compared with the "nano-finger", which allow you to perform precise operations at the nanoscale.

### EFFECTIVE MANIPULATION OF NANO-OBJECTS

Usually in microscopes the manipulator which can move nano-object only in one plane is used. For multi-coordinate movement and other operations typically use at least two manipulators, which must first be attached to the nano-objects, and after manipulation – be detached. As a result, the preparatory operations require from 20 minutes to two hours, which significantly limits the productivity of research and transformations of nano-objects.

New nanoinstruments ensure the functioning of all processes in the real time without losses for preparatory operations. The multi-coordinate manipulation of micro and nano-objects with sizes from 30 to 300 nanometers, including moving, separation of the connected objects (for example, separation of a nanoparticle from a substrate),

\* Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS.



Система наноманипулирования в действии  
Nanomanipulator in action

от подложки), поворот, изгиб и другие деформации, измерение механических свойств, подготовка проб, разрезание, интегрирование нанобъекта в систему. Благодаря этому новые инструменты не только расширяют возможности наблюдения наночастиц, но и позволяют превратить микроскоп в нанотехнологическую установку для создания наноустройств нового поколения или исследования свойств нанобъектов. Перечисленные функции можно реализовать практически во всех видах современных микроскопов – оптических, электронных, атомных силовых и ионных – в различных средах – вакууме, газах, жидкостях.

Уникальные сверхточные возможности совмещаются с предельно простым, удобным и интуитивным управлением – наноинструменты приводятся в действие простым нажатием кнопки без каких-либо предварительных операций. Простота управления обусловлена тем, что активация с помощью эффекта памяти формы (путем нагрева на температуру около 15°C или с помощью электрического тока) не требует ни мотора, ни линии передачи и обеспечивает предельно простой способ функционирования. Более того, рекордно маленькие инструменты имеют размеры одного порядка с наночастицами, что делает манипулирование простым, удобным и эффективным.

#### **РАЗВИТИЕ БИМЕДИЦИНСКИХ НАНОТЕХНОЛОГИЙ С ПОМОЩЬЮ НОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ**

Уникальные возможности наноинструментов были продемонстрированы в эксперименте, где

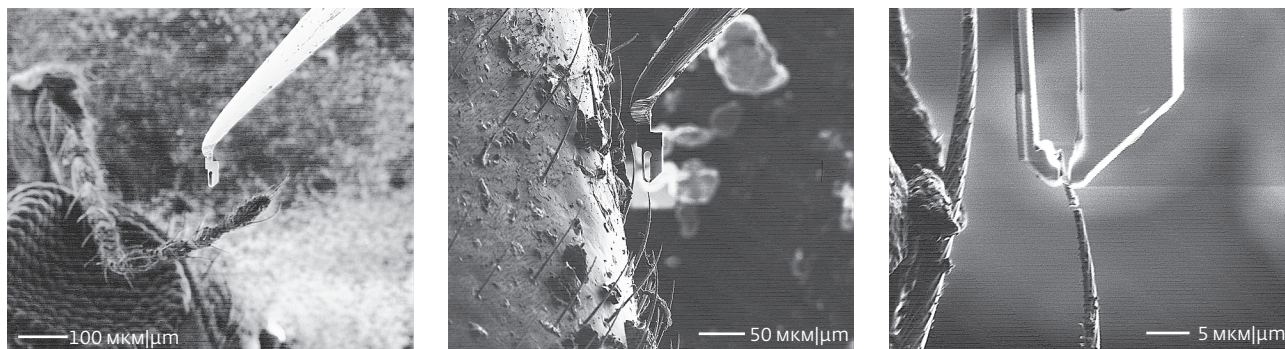
rotation, bending and other deformations, measurements of mechanical properties, sample preparation, cutting, integration of nano-object in the system are possible. New tools not only enhance the capabilities of monitoring of the nanoparticles, but also allow you to turn the microscope into nanotechnology installation to develop a new generation of nano-devices or to research the properties of nano-objects. These functions can be implemented in almost all types of modern microscopes – optical, electron, atomic force and ion – in different environments – vacuum, gases, liquids.

Unique ultraprecise capabilities combine with very simple, easy and intuitive controls – nanoinstruments are driven by a simple press of a button without any prior operations. Easy to control due to the fact that activation of the shape memory effect (by heating at a temperature of about 15°C or by using an electric current) requires no motor, no transmission lines, and provides an extremely simple method of operation. Moreover, record-breaking small tools have dimensions of the same order with nanoparticles, which makes manipulation easy, convenient and effective.

#### **THE DEVELOPMENT OF BIOMEDICAL NANOTECHNOLOGY WITH NEW TOOLS**

Unique features of nanoinstruments were demonstrated in experiment in the chamber of ion microscope, where with the help of nano-gripper a hair on the leg of a mosquito was dissected. It





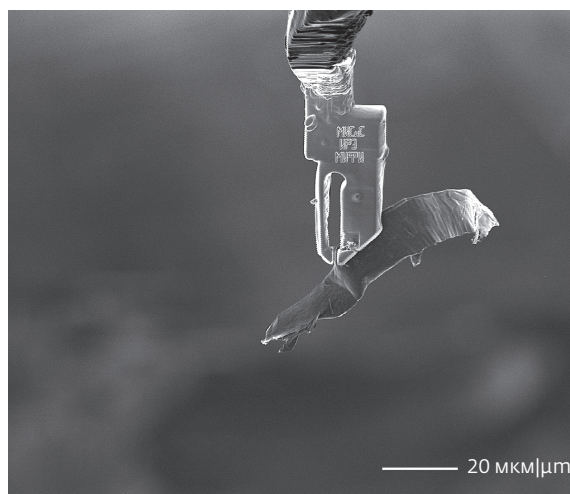
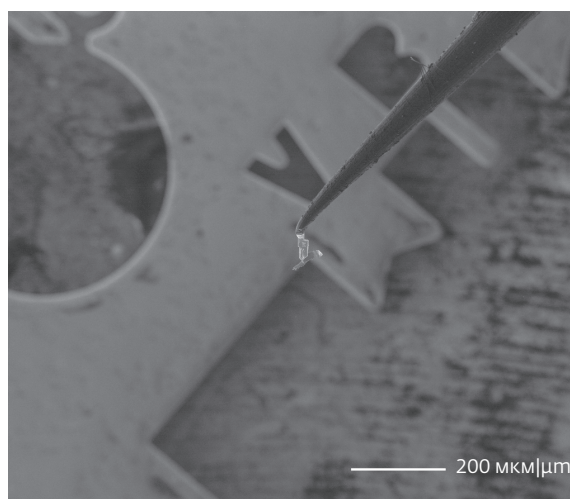
Препарирование волоса на ножке комара  
Dissection of the hair on the leg of a mosquito

с помощью нанозахвата препарировали волосок на ножке комара в камере наблюдения ионного микроскопа. Следует отметить, что гораздо большие по размерам зарубежные аналоги практически не позволяют работать с биологическими объектами из-за неприемлемо высоких рабочих температур (350°C).

Современные медико-биологических методы исследований предполагают существенное уменьшение количества биологического материала. Некоторые типы клеток должны быть очень аккуратно, без повреждений отделены и экстрагированы. Например, при биопсии опухолевых клеток важно не повредить "сумку опухоли", так как в противном случае возможно распространение метастаз. Соразмерным исследуемым объектам наноинструменты могут проникать через пору в опухоль, не повреждая сумку, то есть предлагают новые уникальные возможности безопасного отбора проб для биопсии.

Использование наноинструментов впервые в мире дает возможности оперирования в замкнутом пространстве размером в несколько микрон, например, в капиллярах, внутри отдельных клеток опухолей и в других мельчайших полостях человеческого тела или других организмов. Это открывает следующие перспективы:

- создание сверхточных и сверхминиатюрных инструментов для нанохирургии, в том числе клеточной, внутриклеточной и капиллярной;
- нейронное протезирование;
- тканевая инженерия с использованием манипуляций на уровне отдельных клеток;



Манипулирование графеновыми частицами  
Manipulation of graphene particles





- разработка сверхминиатюрных активных катетеров, включая капсульные катетеры для колоноскопии и сердечно-сосудистой хирургии;
- создание сверхминиатюрных биомикроэлектромеханических систем;
- разработка сверхточной и сверхминиатюрной систем адресной доставки лекарств.

В биологии и медицине важно наблюдать и анализировать различные биохимические реакции в реальном времени для изучения структуры и функционирования отдельных клеток и других бионанообъектов. Наноинструменты дают возможность таких наблюдений благодаря отсутствию необходимости подготовки образцов и мгновенному срабатыванию нанозахватов.

### НОВЫЕ НАНОИНСТРУМЕНТЫ В ПРОРЫВНОЙ НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ

Современные методы нанопроизводства можно разделить на два класса: bottom-up (снизу вверх) и top-down (сверху вниз). Самоорганизация на наноуровне представляется наиболее перспективной для типа bottom-up. Благодаря возможности манипулирования отдельными нанообъектами в реальном времени, наноинструменты предлагают новые пути реализации процессов bottom-up, а именно – сборку наноустройств из отдельных блоков (наночастиц) или молекулярный наноассемблер.

Разработки наномеханических и радиоэлектронных устройств на основе наночастиц ведутся уже достаточно давно. Наноинструменты способны обеспечить техническую реализацию производства таких наноустройств. Речь идет о создании нового поколения технологий сборки систем из крупных единичных молекул или отдельных наночастиц. Перспективными могут быть, например, следующие направления: молекулярный наноассемблер для крупных молекул (например, УНТ и ДНК) или частиц (например, графена); молекулярный механосинтез; измерение свойств индивидуальных нанообъектов; новое поколение нано- и микророботехники; нано- и микросенсорика; нано- и микрофлюидика; молекулярная лаборатория на чипе.

Таким образом, внедрение в исследовательскую практику новых инструментов, способных манипулировать нанообъектами в реальном времени, даст значительный импульс развитию индустрии наномеханизмов. При этом организации, которые первыми начнут использовать возможности новых наноинструментов, получат ощутимые преимущества в области исследований и разработки новых продуктов. ■

should be noted, that competing manipulators are also much larger and don't allow to work with most biological objects because of unacceptably high operating temperatures (350°C).

Modern biomedical research methods involve a significant decrease in the quantity of biological material. Some types of cells must be very carefully, without damaging separated and extracted. For example, for biopsy of tumor cells is important not to damage the tumor's "bag of cells", because otherwise distribution of metastases is possible. Proportional with the studied objects, nanoinstruments can penetrate through the pore into the tumor without damaging the bag, i.e. they offer new unique features of safe sampling for biopsy.

Using of nanoinstruments for the first time in the world gives the possibility of operating in a micrometer-size confined spaces, for example, in the capillaries, within individual cells of tumors and in other tiny cavities of the human body or other organisms. This opens the following perspectives:

- creation of ultra-precise and ultra-portable instruments for nanosurgery, including cellular, intracellular and capillary;
- neural prosthesis;
- tissue engineering with the manipulation at the level of individual cells;
- development of subminiature active catheters, including capsular catheters for colonoscopy and cardiovascular surgery;
- creation of subminiature biomicroelectromechanical systems;
- development of ultra-precise and ultra-portable systems for targeted drug delivery.

In biology and medicine it is important to observe and analyze various biochemical reactions in real time to study the structure and function of individual cells and other bio nano-objects. Nanoinstruments enable such observations due to the absence of sample preparation and instant gripping.

### NEW NANOINSTRUMENTS IN NANOELECTRONICS

Modern methods of nanoproduction can be divided into two classes: bottom-up and top-down. Self-organization at the nano-level seems to be the most promising for the bottom-up class. Due to the possibility of manipulation of individual nano-objects in real time, nanoinstruments offer new ways of implementing of bottom-up processes, namely the assembly of nanodevices



## В БАРНАУЛЕ И САМАРЕ БУДУТ СОЗДАНЫ НАНОЦЕНТРЫ

Алтайский государственный технический университет (Барнаул) и "Инновационный фонд Самарской области" (Самара) стали победителями пятого открытого конкурса Фонда инфраструктурных и образовательных программ (ФИОП) "Роснано" по отбору проектов создания нанотехнологических центров. Итоги конкурса подвели 29 сентября.

Решение принято конкурсной комиссией по результатам научно-технической и инвестиционной экспертизы. Подчеркивается, что команды проектов-победителей обладают достаточными профессиональными знаниями и опытом в сфере коммерциализации результатов научных исследований, соответствующими финансовыми, кадровыми и иными необходимыми ресурсами, а также поддержаны региональными администрациями.

Победа в конкурсе обеспечивает Алтайскому государственному техническому университету и "Инновационному фонду Самарской области" право на заключение инвестиционных соглашений с ФИОП. Общий бюджет проектов-победителей пятого открытого конкурса превышает 1,9 млрд. рублей, в которых доля ФИОП составит до 840 млн руб.

*Пресс-служба "Роснано"*

of individual blocks (nanoparticles) or molecular nano-assembler.

Developments of nanomechanic and electronic devices, based on nanoparticles, is conducted already for a long time. Nanoinstruments able to provide technical implementation of the production of such nanodevices. We are talking about creation of new generation of technologies to build systems of large single molecules or single nanoparticles. Perspective can be, for example, the following areas: molecular nano-assembler for large molecules (such as carbon nanotubes and DNA) or particles (e.g., graphene); molecular mechanosynthesis; measurement of properties of individual nano-objects, a new generation of nano- and microrobotic; nano- and mikrosensorik; nano- and microfluidics, molecular laboratory on a chip.

Thus, the implementation in the research practice of new tools, able to manipulate nano-objects in real time, will give a significant impetus to the development of nanomechanical industry. The organization, which first started using the new nanoinstruments will receive tangible benefits in research and development of new products. ■