



## ЦЕНТР МОЛОДЕЖНОГО ИННОВАЦИОННОГО ТВОРЧЕСТВА "НАНОТЕХНОЛОГИИ"

И.Яминский<sup>1, 2</sup> д.ф.-м.н. / [yaminski@nanoscopy.ru](mailto:yaminski@nanoscopy.ru)  
Г.Мешков<sup>1</sup> к.ф.-м.н.

Организация центров молодежного инновационного творчества – важная инициатива для инновационного развития страны. Один из них создан и успешно работает на базе лаборатории сканирующей зондовой микроскопии в МГУ имени М.В.Ломоносова.

**Н**анотехнологии относятся к тем прорывным направлениям, которые могут в ближайшем будущем коренным образом изменить жизнь людей и стать основой нового технологического уклада. Государство или сообщество государств, успешно применившие на практике возможности нанотехнологий, добьются не только мирового лидерства, но и, что очень вероятно, мирового господства.

Современный компьютер и мобильный телефон – пример успешных достижений нанотехнологий в электронике. Размер структурного элемента в микропроцессорах – полевого транзистора, соединительного элемента и прочих – меньше или существенно меньше 100 нанометров. Добиться такого успеха стало возможно благодаря упорному труду ученых, инженеров и технологов на протяжении более чем пятидесяти лет.

Безусловные лидеры по применению нанотехнологий в электронике – США, Япония и Южная Корея. Что делать остальным странам? Трудиться, трудиться и трудиться – и через 5–15 лет появятся значимые результаты. Так в свое время поступили Сингапур, Тайвань, Гонконг, по этому пути уверенно идет Китайская Народная Республика.

Концепция быстрого развития nanoиндустрии в России была подробно изложена в №4/2013 журнала "Nanoиндустрия" [1], и на этом вопросе мы останавливаться не будем. Отметим только, что в любой инновационный процесс должна быть вовлечена активная часть молодого

## YOUTH INNOVATION CREATIVITY CENTRE "NANOTECHNOLOGY"

I.Yaminskiy<sup>1,2</sup> D.Sc. / [yaminski@nanoscopy.ru](mailto:yaminski@nanoscopy.ru)  
G.Meshkov<sup>1</sup>, Ph.D.

Organisation of youth innovation creativity centres is an important initiative to foster the innovative development of Russia. One of such centres is created and successfully operated in the premises of the scanning probe microscopy laboratory at the Lomonosov MSU.

**N**anotechnology refers to those breakthrough areas that could soon radically change people's lives and provide the basis for a new technological pattern. A state or a community of states, which have successfully put into practice nanotechnology opportunities, will not only achieve the global leadership but what is very likely the world domination.

Modern computer and mobile phone provide an example of the successful nanotechnology advances in electronics. The size of a structural element in microprocessors, e.g. a field transistor, a connecting elements and others, is substantially less than 100 nanometers. It was possible to achieve such success due to the hard work of researchers, engineers and process managers for more than fifty years.

The undisputed leaders in the application of nanotechnology in electronics are the USA, Japan and South Korea. What are other countries supposed to do? Work more and more, and in 5–15 years there will be significant results. In due time arrived it was done in Singapore, Taiwan, Hong Kong, and the Peoples Republic of China is confidently following that way.

The concept of rapid development of the nanotechnology sector in Russia was described in detail in the fourth issue of the journal in 2013 [1], and we will not dwell on that subject. We note only that in any innovation process the most active younger generation should be involved thus ensuring success in the long term. Therefore the initiative to establish a Youth innovation creativity centres (YICC) is strategically important for the country.

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова  
<sup>2</sup> Центр перспективных технологий

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University  
<sup>2</sup> Advanced Technologies Center



поколения – это станет залогом долговременного успеха. Поэтому инициатива о создании центров молодежного инновационного творчества (ЦМИТ) стратегически важна для страны.

### ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЦМИТ

Когда мы обсуждали, какое направление должен выбрать ЦМИТ, альтернативы нанотехнологиям не было. В пользу такого выбора говорили российские успехи в области сканирующей зондовой микроскопии – главного исследовательского инструмента нанотехнологий [2-4] и наличие опыта в образовательных программах [5-7]. При этом как с познавательной, так и с практической точек зрения целесообразен определенный крен в направлении биологии и медицины. Природа создает основные строительные единицы – нуклеиновые кислоты, белки, полисахариды и другие наноструктуры – с точностью, недостижимой в настоящее время человеком в его производственной деятельности. Красота наномира лучше всего познается при исследовании живой природы на уровне молекул, белков, нуклеиновых кислот, бактерий и клеток [8-12].

Итак, чему и как учить в ЦМИТ? Лучше всего учить через достижения практических результатов, например через строительство своего зондового микроскопа. Скажете, сложно? Когда знаешь, как строить, то несложно.

Приступая к созданию ЦМИТ, мы подготовили и уже начали выполнять план работ на ближайший год (см. табл.).

### ЛАБОРАТОРИЯ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Сканирующая зондовая микроскопия – не только главный исследовательский инструмент нанотехнологий, но и основное средство их популяризации. Таким образом, ключевым элементом ЦМИТ должна стать лаборатория сканирующей зондовой микроскопии.

В лаборатории дети имеют возможность приобрести базовые навыки работы в области сканирующей зондовой микроскопии и литографии, экспериментальной работы в физической лаборатории, аккуратной постановки тонкого физического эксперимента, проведения научных исследований, освоить на практике сканирующий зондовый микроскоп "ФемтоСкан" и многофункциональное программное обеспечение для обработки изображений "ФемтоСкан Онлайн", проводить свои собственные эксперименты, узнать возможности нанотехнологий



*Зондовая микроскопия работает в 3D-формате: можно в полной мере использовать возможности 3D-мониторов для воспроизведения объемных изображений наномира*

*Probe microscopy working in 3D and you can take full advantage of the 3D-monitors to play three-dimensional images of the nanoworld*

### YICC ACTIVITY PLANNING

When we discussed what priority YICC should choose, there were no alternative but nanotechnology. This choice was strengthened by Russian achievements in the field of scanning probe microscopy, the key research tool in nanotechnology [2-4], and experience availability in the educational programmes [5-7]. However, from the cognitive and practical points of view, a certain shift towards biology and medicine might be appropriate. Nature creates the basic building units, e.g. nucleic acids, proteins, polysaccharides and other nanostructures, with accuracy currently unreachable by human in the productive activity. The nanoworld beauty is best studied in the research of wildlife at the level of molecules, proteins, nucleic acids, bacteria and cells [8-12].

So, what and how to study in YICC? It is best to learn through practical results, for example, through the construction of your own probe microscope. Do you mean it's difficult? When you know how to build, it is not.

By starting to create YICC, we have prepared and have already begun to carry out the work plan for the coming year (table).



Таблица. План работ ЦМИТ на 2014 год  
Table. The YICC work plan for 2014

<p>ЦМИТ как экспериментальная площадка YICC as an experimental platform</p>	<p>Пользователи:  <ul style="list-style-type: none"> <li>• STEM-центры;</li> <li>• победители конкурса "УМНИК";</li> <li>• участники проекта "Ученые будущего" (при поддержке МГУ им. М.В. Ломоносова и компании Intel);</li> <li>• участники "Турнира юных физиков"</li> </ul>           Users:  <ul style="list-style-type: none"> <li>• STEM-centers;</li> <li>• winners of the competition "UMNIK";</li> <li>• members of "Scientists of the Future" (supported by MSU and Intel);</li> <li>• participants "Tournament of young physicists"</li> </ul> </p>
<p>Экскурсии для учащихся общеобразовательных школ Excursions for schoolchildren</p>	<p>Темы экскурсий:  <ul style="list-style-type: none"> <li>• "Как увидеть атом или молекулу";</li> <li>• "От граммофона до зондового микроскопа";</li> <li>• "Что такое нанотехнологии?"</li> </ul>           Topics:  <ul style="list-style-type: none"> <li>• "How to see the atom or molecule";</li> <li>• "From the gramophone to probe microscope";</li> <li>• "What is nanotechnology?"</li> </ul> </p>
<p>Конкурсы Competitions</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Общероссийский конкурс "Мой первый завод" (ежегодно с 1 сентября по 25 января);</li> <li>• Общероссийский конкурс "Мой первый 3D-принтер" (ежегодно с 1 сентября по 25 января);</li> <li>• Конкурс для учеников старших классов "Как построить сканирующий зондовый микроскоп и увидеть атом" (ежегодно с 1 сентября по 25 января);</li> <li>• Конкурс для студентов "Конструируем биосенсоры" (ежегодно с 1 сентября по 25 января)</li> <li>• Moscow competition "My first plant" (annually from September 1 to January 25);</li> <li>• Moscow competition "My first 3D-printer" (annually from September 1 to January 25);</li> <li>• Competition for upperclassmen "How to build a scanning probe microscope and see the atom" (annually from September 1 to January 25);</li> <li>• Competition for students "Design the biosensors" (annually from September 1 to January 25)</li> </ul>
<p>Обучающие курсы Educations</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D-проектирование в Solid Works (50–500 участников);</li> <li>• 3D-проектирование в Siemens NX (10–30 участников);</li> <li>• 3D-проектирование в AutoCad (15–50 участников)</li> <li>• 3D-design in Solid Works (50–500 participants);</li> <li>• 3D-design in Siemens NX (10–30 participants);</li> <li>• 3D-design in AutoCad (15–50 members)</li> </ul>
<p>Кружки Study groups</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• "Сенсоры и биосенсоры";</li> <li>• "Строим 3D-принтер";</li> <li>• "Сканирующая зондовая микроскопия – взгляд в микромир: от атомов и молекул до живых клеток";</li> <li>• "Конструируем и строим обрабатывающий центр";</li> <li>• "Экспериментальная нанотехнология"</li> <li>• "Sensors and Biosensors";</li> <li>• "Designing a 3D-printer";</li> <li>• "Scanning probe microscopy – a look into the microworld: from atoms and molecules to living cells";</li> <li>• "Designing and building the processing center";</li> <li>• "Experimental nanotechnology"</li> </ul>
<p>Семинары-конференции Seminars and conferences</p>	<p>Проведение образовательных семинаров-конференций по 3D-проектированию в SolidWorks, AutoCad и Siemens NX Educational seminars and conferences on 3D-design in SolidWorks, AutoCad and Siemens NX</p>
<p>Образовательный интернет-ресурс по 3D-проектированию для нанотехнологии Educational web-site for 3D-design for nanotechnology</p>	<p>Запуск начальной версии – декабрь 2014 года Launch the initial version – December 2014</p>
<p>Центр прототипирования Prototyping center</p>	<p>Ориентирован на студентов и аспирантов университетов, сотрудников стартапов и инновационных компаний. Запуск – октябрь 2014 года Focused on undergraduate and graduate students of universities, employees of startups and innovative companies. Launch – October 2014</p>



в медицине, биологии, физике, химии и науках о материалах.

Цель работы со школьниками в лаборатории – формирование интереса у ребят к нанотехнологиям, методам создания и исследования нанообъектов, уникальным свойствам наноматериалов, к их применению и перспективам развития этой отрасли науки; поиск талантливой молодежи, способной осуществить прорыв в данной области; привлечение школьников к участию в различных научно-исследовательских, научно-технических и творческих конкурсах.

Работа в лаборатории ведется по нескольким направлениям:

- аналитическая бионаноскопия – исследование морфологии и свойств биомакромолекул и биологических систем с использованием различных методов сканирующей зондовой микроскопии, относящихся к молекулярному механизму роста кристалла белка, морфологии и свойствам бактериальных клеток, конформационным изменениям ДНК в присутствии сурфактантов, структуре и свойствам вирусов, молекулярным процессам при вирусной инфекции;
- наноскопия полимеров – исследования свойств и структуры нанокompозитных и функциональных полимеров, которые представляют интерес для нанотехнологии, биологии и медицины;
- разработка и создание научных измерительных приборов мирового уровня в области зондовой микроскопии;
- решение материаловедческих задач – исследование структуры и функциональных свойств материалов для нефтеперерабатывающей, машиностроительной и других отраслей промышленности.

### УСПЕШНЫЙ ПРОЕКТ

В рамках работы со школьниками в лаборатории успешно реализуется проект по теме: "Искусственное структурирование поверхностей слоистых углеродных материалов", автор и исполнитель которого – Мария Савинова, учащаяся школы №1273. Цель проекта – разработка методов создания наноструктур заданной формы и размера на поверхности графита с использованием зондовой литографии, позволяющей добиться пространственного разрешения вплоть до нескольких нанометров.

Перспективными материалами для будущей наноэлектроники представляются слоистые

### SCANNING PROBE MICROSCOPY LAB

Scanning probe microscopy is not only the key research tool of nanotechnology but their primary means of promoting it. Thus, a scanning probe microscopy laboratory should become the key element of YICC.

In the laboratory, children can acquire basic skills in the field of scanning probe microscopy and lithography, experimental work in the physics laboratory, carefully setting-up a subtle physical experiment, conducting research, practicing the scanning probe microscope FemtoScan and the multifunctional software for image processing FemtoScan Online, conducting your own experiments, identifying the possibilities of nanotechnology in medicine, biology, physics, chemistry and material science.

The purpose of working with children in the laboratory is to provoke interest in nanotechnology, the methods of creation and research of nanoobjects, the unique properties of nanomaterials, their use and prospects of the development of this branch of science; search for talented young people capable of making a breakthrough in the area; engaging children in various research, scientific-technical and creative contests.

The work in a lab is conducted in several directions:

- analytical bionanoscopia – studying the morphology and properties of biological macromolecules and biological systems using a variety of scanning probe microscopy related to the molecular mechanism of protein crystal growth, morphology and properties of the bacterial cells, DNA conformational changes in the presence of surfactants, the structure and properties of viruses, molecular processes during the viral infection;
- polymer nanoscopia – studying the properties and structure of nanocomposite and functional polymers, which are of interest for nanotechnology, biology and medicine;
- design and development of research instrumentation in the field of world-class probe microscopy;
- solving material science problems – studying the structure and functional properties of materials for the oil refining, engineering and other industries.

### A SUCCESSFUL PROJECT

In the course of the work with children in the laboratory the project 'Artificial structuring



углеродные материалы, например нанотрубки, графен, тонкие графитовые пленки. С их использованием создаются образцы транзисторов, полевых эмиттеров, высокочувствительных сенсорных элементов. Для успешного развития углеродной наноэлектроники требуется разработка прецизионных методов формирования наноструктур из углерода.

Искусственное структурирование поверхности можно рассматривать с двух точек зрения: и как процесс создания структур заданной формы, при котором воздействие осуществляется непосредственно в каждой точке поверхности, и как процесс самоорганизации атомов после некоторого макроскопического воздействия на поверхность. К первому случаю можно отнести различные виды литографии. Зондовая литография позволяет добиться высокого пространственного разрешения, поскольку область воздействия на поверхность ограничивается радиусом закругления иглы и составляет всего несколько нанометров. Ко второму случаю можно отнести процесс самоупорядочения дислокаций в графите и формирования периодических наноструктур.

Локальное анодное окисление поверхности графита с образованием диэлектрического соединения – оксида графита – позволяет формировать диэлектрические наноструктуры на поверхности графита или графитовой пленки. Этим методом на поверхности графита были выращены диэлектрические полосы оксида графита с расстоянием между максимумами полос в 120 нм.

При выполнении проекта также планируется оценить возможности локального анодного окисления как инструмента "наногравировки" для создания изображений на поверхности графита, что позволит сделать процесс еще более творческим.

### СКАНИРУЮЩИЙ ЗОНДОВЫЙ МИКРОСКОП, 3D-ПРИНТЕР И ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ЦЕНТР

Что общего между вынесенными в подзаголовок столь разными устройствами? Может сложится впечатление, что различий больше, чем совпадений, но это не так. При управлении сканирующим зондовым микроскопом, 3D-принтером и обрабатывающим центром используются схожие программное обеспечение, электроника и алгоритмы. Во всех трех устройствах зонд, головку и обрабатывающий инструмент необходимо точно подвести к заданному месту, причем



Мария Савинова и сканирующий зондовый микроскоп "ФемтоСкан" готовы к работе

*Mariya Savinova and scanning probe microscope FemtoScan ready to go*

surfaces layered carbon materials' is successfully implemented, the author and performer of which is Mariya Savinova, a student of school No 1273. The project is aimed at developing methods for creating nanostructures of a pre-determined size and shape on the surface of graphite using the scanning probe lithography allowing to achieve the spatial resolution down to a few nanometres.

The layered carbon-base materials have potential for the future nanoelectronics, e.g. nanotubes, graphene and thin graphite film. They are used to create the samples of transistors, field emitters and high-sensitivity sensor elements. The successful development of carbon nanoelectronics requires the development of precision methods of nanostructure creation of carbon.

Artificial surface structuring can be viewed from two perspectives, as a process for the creation of structures of a given shape, in which the impact takes place directly at each point of the surface, and as a process of self-organisation of atoms after a macroscopic effect on the surface. The first case may include various types of lithography. Probe lithography allows to achieve high spatial resolution since the scope of the surface is limited to a radius of curvature of the needle and is only a few nanometres. The second case includes self-organisation process of dislocations in graphite and formation of periodic nanostructures.

Local anodic oxidation of the graphite surface with the formation of a dielectric



Подготовка графита к экспериментам по сканирующей зондовой микроскопии

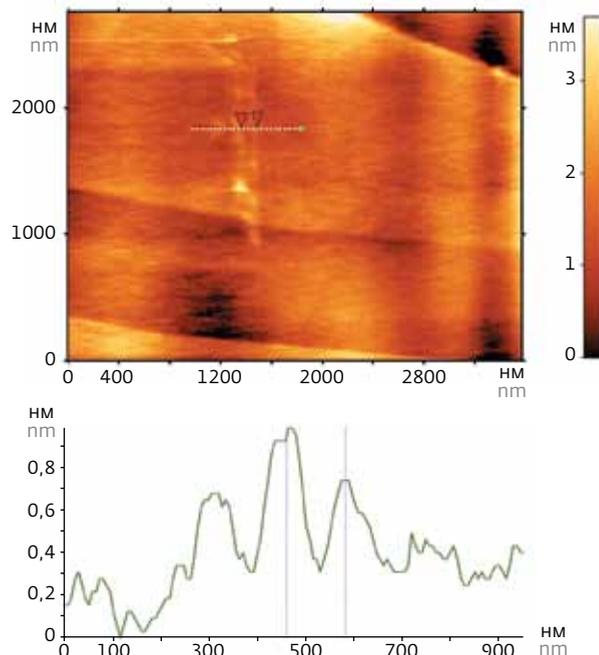
*Preparation of graphite to experiments on scanning probe microscopy*

предпочтительно не с микронной, а с субмикронной погрешностью. Механические системы позиционирования для зондового микроскопа, 3D-принтера и обрабатывающего центра строятся на одинаковых принципах: минимальные люфты, жесткая механика, низкие температурные дрейфы. Для управления используются прецизионные шаговые двигатели и сервоприводы. Лидер по точности механических систем перемещения, конечно, сканирующий зондовый микроскоп, в котором погрешности не превышают сотых и даже тысячных долей нанометра. Современные обрабатывающие центры уже приближаются к нанометровой точности [13].

Объединяя все три устройства в единую цепочку, получаем прототип современного завода для обработки наноматериалов. Такое производство строится по типу цифровой фабрики: токарь и фрезеровщик становятся программистами, материаловедами, конструкторами, учеными и инженерами в одном лице. Один из таких "заводов" уже выдает первую продукцию – изображения наномасштаба на поверхности пиролитического графита.

*Авторы выражают искреннюю благодарность за поддержку Ивану Михайловичу Бортнику, Центру инновационного развития Москвы, Департаменту науки, промышленной политики и предпринимательства Правительства Москвы, друзьям и единомышленникам. Двигаться быстро и успешно без поддержки было бы трудно. Спасибо всем!*

*Статью посвящаем памяти Сергея Савинова – великого труженика зондовой микроскопии.*



Первые результаты по модификации поверхности методом локального анодного окисления

*The first results of surface modification by local anodic oxidation*

compound – graphite oxide – allows forming dielectric nanostructures on the surface of graphite or graphite film. This method on a graphite surface helped grow a dielectric strip of graphite oxide with the distance between the peaks of the strips of 120 nm.

When implementing a project, it is also intended to assess the possibility of local anodic oxidation as a "nanoengraving" tool to create images on the graphite surface, which will make the process even more creative.

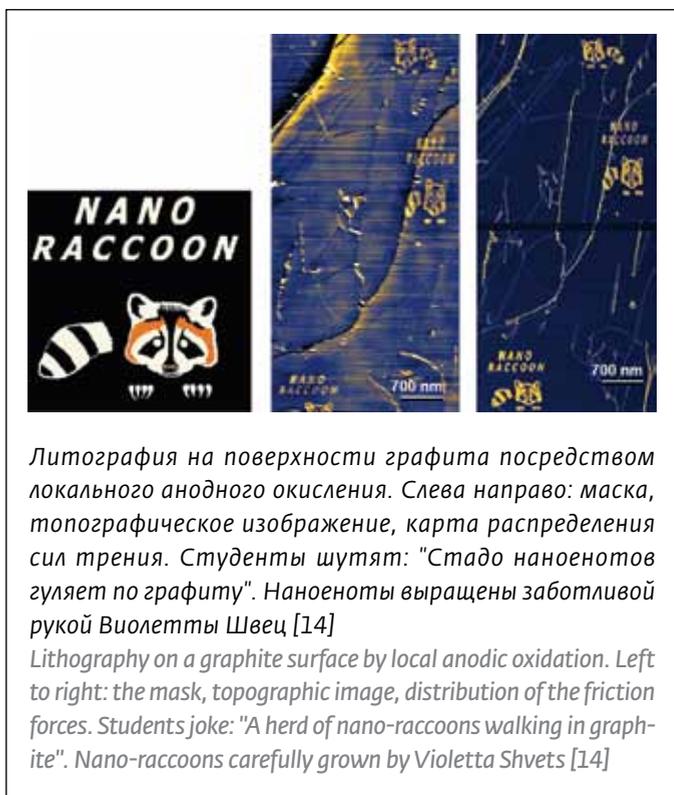
### SCANNING PROBE MICROSCOPE, 3D-PRINTER AND PROCESSING CENTRE

What is in common between so many different devices in the sub-title? It may seem that there are more differences than common things but that is not true. When operating a scanning probe microscope, a 3D-printer and a processing centre, similar software electronics and algorithms are used. In all the three devices, it is necessary to accurately bring the probe head and the machining tool to a predetermined place preferably with not micron error but submicron error. The mechanical



## ЛИТЕРАТУРА

1. Яминский И. Образование и создание заводов для наноиндустрии. – Наноиндустрия, 2013, №4 (42), с. 36-47.
2. Сеницына О. Сканирующая туннельная микроскопия. Прошлое и будущее. – Наноиндустрия, 2013, №2 (40), с. 48-50.
3. Савинов С., Яминский И. От Скана до ФемтоСкана: итоги 25 лет. – Наноиндустрия, 2013, №1 (39), с. 54-59.
4. Мешков Г., Сеницына О., Яминский И. Новые разработки в области зондовой литографии. – Наноиндустрия, 2009, №2, с. 28-30.
5. Дубровин Е., Мешков Г., Яминский И. Наблюдение вируса табачной мозаики в практикуме сканирующей зондовой микроскопии. – Наноиндустрия, 2014, №2(48), с. 46-52.
6. Гудилин Д. Синтез образования, науки и производства: практический опыт. – Наноиндустрия, 2014, №2(48), с. 36-41.
7. Большакова А., Дубровин Е., Протопопова А., Сеницына О., Смирнов С., Яминский И. Пять нобелевских уроков (практикум для старшеклассников по сканирующей зондовой микроскопии). – М.: Центр перспективных технологий, 2013, 94 с.
8. Яминский И. Бионаноскопия: белки и их некоторые свойства. – Наноиндустрия, 2010, №2(20), с. 26-27.
9. Яминский И. Бионаноскопия: бактериальные клетки. – Наноиндустрия, 2010, №2(20), с. 28-29.
10. Протопопова А., Дубровин Е., Сеницына О., Яминский И. Современные достижения бионаноскопии. – Наноиндустрия, 2011, №4(28), с. 32-34.
11. Багров Д., Мешков Г., Сеницына О., Смирнов С., Яминский И. Молекулярный экспресс-анализ для диагностики и медицины. – Наноиндустрия, 2011, №1(25), с. 32-36.
12. Яминский И., Горелкин П., Ерофеев А., Сеницына О., Мешков Г. Бионаноскопия в биологии и медицине. – Наноиндустрия, 2013, №8(46), с. 34-44.
13. Яминский И., Ерофеев А., Киселев Г., Колесов Д., Протопопова А. Нанотокарь – это серьезно. – Наноиндустрия, 2011, №4(28), с. 52-55.
14. Шве́ц В. Создание структур из оксида на поверхности графита. – Наноиндустрия, 2011, №2(26), с. 36-38.



Литография на поверхности графита посредством локального анодного окисления. Слева направо: маска, топографическое изображение, карта распределения сил трения. Студенты шутят: "Стадо наноенотов гуляет по графиту". Наноеноты выращены заботливой рукой Виолетты Шве́ц [14]

Lithography on a graphite surface by local anodic oxidation. Left to right: the mask, topographic image, distribution of the friction forces. Students joke: "A herd of nano-raccoons walking in graphite". Nano-raccoons carefully grown by Violetta Shvets [14]

positioning system for a probe microscope, a 3D printer and a processing centre are built on the same principles, minimal backlash, rigid mechanics and low temperature drifts. To control, precision stepper motors and servos are used. The leader in precision mechanical motion systems is of course s scanning probe microscope, in which the error does not exceed hundredths or even thousandths of a nanometer. Modern processing centres are already approaching the nanometer precision [13].

By combining all three devices in a single chain, we obtain a prototype of a modern factory to process nanomaterials. This production is created by following the example of a digital factory, a turner and a miller become programmers, materials scientists, designers, scientists and engineers in one person. One of such "factories" already provides the first product – nano-raccoon images on the surface of pyrolytic graphite (HOPG).

The authors express their sincere gratitude for support to Ivan Bortnik, Moscow Innovation Development Centre, the Department of Science, Industrial Policy and Entrepreneurship of the Moscow City Government, friends and associates. It would be difficult to move forward quickly and successfully without the support. Thank you all!

The article is dedicated to the memory of Sergey Savinov, a great worker in the field of probe microscopy.