ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАНОПОКРЫТИЯ: ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

FUNCTIONAL NANOCOATINGS: TRENDS AND PROSPECTS

Функциональные нанопокрытия – направление нанотехнологий, в котором ведутся не только фундаментальные исследования, но и активно реализуются промышленные проекты. О перспективных направлениях разработок и достижениях в этой области рассказывают наши эксперты.

Functional nanocoatings is an area of nanotechnology, in which are conducted not only basic researches but also are actively implemented industrial projects. Our experts speak about the promising directions of development and achievements in this area.

Сергей Никифоров
руководитель отдела научно-технического маркетинга компании "ЭлТех СПб"

Формирование нанопокрытия возможно по толщине (нанослойное), зернистости (нанокомпозитное) и морфологии (наноструктурное). Все типы находят широкое применение в различных областях для модификации свойств поверхности материалов.

Нанесение нанопокрытий позволяет улучшить следующие характеристики: твердость и износостойкость (режущий инструмент, головки жестких дисков); стойкость к воздействию высоких температур и агрессивных сред (лопатки турбин); анти-адгезионные свойства (штампы); непроницаемость/герметичность (микроэлектроника, OLED-дисплеи); скольжение/коэффициент трения (трибология); гидрофобность и олеофобность (сенсорные дисплеи); гидрофильность (активация

Sergey Nikiforov
Head of the Department of Scientific and Technical Marketing, Eltech SPb

Nanocoating can be formed by the thickness (nanolayers), grain (nanocomposite) and morphology (nanostructure). All types are widely used in various fields for the modification of surface properties of materials.

The nanocoatings can improve the following characteristics: hardness and wear resistance (cutting tools, heads of hard drives); resistance to high temperatures and corrosive environments (turbine blades); anti-adhesive properties (punches); impermeability/hermeticity (microelectronics, OLED-displays); sliding/friction (tribology); hydrophobicity and oleophobicity (touch screens); hydrophilicity (activation before coating); biocompatibility (medical implants); bactericidal (medical instruments). In addition, the formation of functional coatings with desired properties, such as dielectric or conductive (in combination with transparency and flexibility), a heat-conducting or insulating, etc. is possible. Micro- and nanoelectronics, photovoltaics today are unthinkable without film technologies.

Main technology for production of nanocoatings are atomic layer deposition (ALD), chemical vapor deposition (CVD), plasma chemical vapor deposition (PCVD), physical vapor deposition (PVD), equilibrium and non-equilibrium plasmas at atmospheric pressure; laser ablation; sol-gel process; electrical wire explosion (obtaining of nanopowders); detonation synthesis (nanodiamonds). All of these areas are developing, occupy their

перед нанесением покрытий); биосовместимость (медицинские имплантаты); бактерицидность (медицинские инструменты). Кроме этого возможно формирование функциональных покрытий с заданными свойствами, например диэлектрическими или проводящими (в сочетании с прозрачностью и гибкостью), теплопроводящими или изолирующими и др. Микро- и наноэлектроника, фотовольтаика сегодня немыслимы без пленочных технологий.

Основные технологии получения нанопокрытий: атомно-слоевое осаждение (ALD – Atomic Layer Deposition); химическое осаждение из газовой фазы (CVD – Chemical Vapor Deposition); плазмо-химическое осаждение из газовой фазы (PCVD – Plasma Chemical Vapor Deposition); физическое осаждение из газовой фазы (PVD – Physical Vapor Deposition); равновесная и неравновесная плазма при атмосферном давлении; лазерная абляция; зол-гель процесс; электрический взрыв проволоки (получение нанопорошков); детонационный синтез (наноалмазы). Все перечисленные направления развиваются, занимают свои ниши рынка нанопокрытий и являются перспективными. Тем не менее можно выделить тенденции, которые влияют на ускоренное внедрение промышленных процессов, обеспечивая следующие преимущества:

- снижение температуры процесса (важно для пластиковых подложек);
- снижение стоимости и упрощение оборудования (например, за счет исключения вакуумной системы);
- равномерность покрытия на большей площади;
- возможность применения рулонной технологии (R2R процесс);
- гибкость покрытий (гибкая электроника);
- биосовместимость;
- конформность;
- отсутствие пор (герметичность).

Среди множества перспективных наноматериалов и покрытий, безусловно, выделяется графен. Разработка промышленных технологий его получения (в частности, с использованием подложки из карбида кремния) – в центре внимания ведущих исследователей. Нанопокрытия из парилена отличает отсутствие пор, что позволяет успешно использовать его для формирования диэлектрических слоев в OTFT-матрицах и для герметизации OLED-дисплеев и печатных плат. Алмазоподобные нанопокрытия (ta-C, a-C:H) имеют широчайшее применение от трибологии и биомедицины до уменьшения газопроницаемости тары из ПЭТ.

Из перспективных технологий стоит упомянуть формирование самоорганизующихся наноструктур путем ионной бомбардировки

niches of the market of nanocoatings and are promising. However, it is possible to identify trends that affect the accelerated introduction of industrial processes, providing the following advantages:

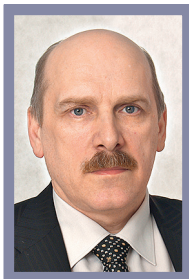
- reduction of process temperature (important for plastic substrates);
- cost reduction and simplification of the equipment (for example, due to the exclusion of the vacuum system);
- uniformity of the coating over a larger area;
- ability to apply roll-to-roll (R2R) processing;
- flexibility of coatings (flexible electronics);
- biocompatibility;
- conformability;
- absence of pores (hermeticity).

Graphene will definitely stand out among the many promising nanomaterials and coatings. The development of industrial technology of its synthesis (in particular, using the substrate made of silicon carbide) is under the spotlight of leading researchers. Parylene nanocoating have no pores, therefore, can successfully be used for forming the dielectric layers in the OTFT-matrices and for sealing of OLED-displays and printed circuit boards. Diamond-like nanocoatings (ta-C, a-C: H) have the broadest application from a tribology and biomedicine to reduction of gas permeability of PET containers.

Promising technologies include the formation of self-organized nanostructures by ion bombardment of the surface at a certain angle or by the use of block copolymers. One of the already implemented applications is the manufacturing of wire grid polarizer (WGP) for LCD-displays. In the future we can expect increased use of self-assembly of nanocoatings.

поверхности под определенным углом или использования блок-сополимеров. Одно из уже реализованных применений – изготовление поляризатора WGP (Wire Grid Polarizer) для LCD-дисплеев. В будущем можно ожидать расширение применения методов самосборки нанопокрытий.

Говоря о проблемах развития данного направления наноиндустрии в России можно отметить нехватку во многих регионах сервисных центров по восстановлению покрытий (например, на режущем инструменте), а также необходимость внедрения технологий нанопокрытий в энергетике и здравоохранении. Но главное – это необходимость восстановления утерянных позиций отечественной прикладной науки и технологии и создание условий для продвижения на рынок собственных высокотехнологичных разработок. Не секрет, что в основе многих импортных приборов и технологий, в том числе и в области нанопокрытий, лежат отечественные идеи и разработки (например, MEVVA – Metal Vapor Vacuum Arc или КИБ в русскоязычной транскрипции – конденсация с ионной бомбардировкой). Задача – сделать так, чтобы их было выгодно воплощать в жизнь в России.



Игорь Яминский
генеральный директор компании "Центр перспективных технологий", проф. МГУ им. М.В.Ломоносова, д.ф.-м.н.

Перед тем как отвечать на этот важный вопрос, давайте займемся простым расчетом. Посмотрим, как меняется отношение числа атомов, расположенных на поверхности тела, к числу атомов, составляющих объем этого тела. Для удобства расчета возьмем тело сферической формы. Для тела радиуса r общее число молекул NV равняется:

Speaking about the problems of development of this area in the Russian nanoindustry it should be noted shortages in many regions of the service centers for restoration coatings (for example, on cutting tools), as well as the need for the introduction of nanocoatings in the power engineering and healthcare. But the most important are the need to restore the lost positions of Russian applied science and technology, and the creation of conditions for promotion of domestic high-tech developments. It is no secret that many of the imported equipment and technologies, including in the field of nanocoating, are based on Russian ideas and developments (for example, MEVVA – Metal Vapor Vacuum Arc). The goal is to make them profitable to implement in Russia.

Igor Yaminsky
Director General of the Advanced Technologies Center, Professor of Lomonosov Moscow State University, D.Sc.

First, let's look at how the ratio of the number of atoms located on the surface of the body, to the number of atoms in the body changes. For convenience of calculation, let us consider the spherical body shape. For the body of radius r, the total number of molecules N_V equals:

$$N_V = \frac{4\pi r^3}{3V_m},$$

where V_m is the volume of one molecule.

The number of molecules located on the surface of a sphere:

$$N_s = \frac{4\pi r^2}{S_m},$$

where S_m is the cross sectional area of a single molecule.

Then the ratio of the number of atoms on the surface to the total number of atoms:

$$\frac{N_s}{N_v} = \frac{3V_m}{S_m r}.$$

For a single molecule the ratio is equals 1:

$$\frac{N_s}{N_v} = \frac{3V_m}{S_m r} = \frac{r_m}{r} = 1,$$

where r_m is the radius of a single molecule.

We have got an easy and obvious rule – the number of atoms on the surface of the sphere is less than the volume as much as the radius of a molecule is less than the radius of the sphere. From a radius of 1 nm to

$$N_V = \frac{4\pi r^3}{3V_m},$$

где V_m – объем одной молекулы.

Число молекул, расположенных на поверхности нашей сферы,

$$N_s = \frac{4\pi r^2}{S_m},$$

где S_m – площадь поперечного сечения одной молекулы.

Отношение числа атомов на поверхности к суммарному числу атомов:

$$\frac{N_s}{N_v} = \frac{3V_m}{S_m r}.$$

Для одной молекулы это отношение равняется 1:

$$\frac{N_s}{N_v} = \frac{3V_m}{S_m r} = \frac{r_m}{r} = 1,$$

где r_m – радиус одной молекулы.

Получается простое и наглядное правило – атомов на поверхности шара меньше, чем в объеме во столько раз, во сколько радиус одной молекулы меньше радиуса шара. Если мы переходим от радиуса в 1 нм к радиусу 1 м, то отношение меняется в миллиард раз!

Физический вывод очевиден: в нанотехнологиях, которые имеют дело с наночастицами, роль поверхности – определяющая, а нанопокрытия, нанесенные на поверхность наночастиц, могут кардинально менять свойства последних.

Можно утверждать, что нанопокрытия, которые изменяют функциональные свойства наночастиц, занимают центральное место в нанотехнологиях. Уже сейчас можно привести два примера наночастиц с нанопокрытиями:

- коллоидные квантовые точки – внутри полупроводник, на поверхности ПАВ – используются на практике такими гигантами индустрии, как Sony и LG при производстве мониторов высокой яркости и контрастности;
- биомаркеры на основе золотых наночастиц с пришитыми олигонуклеотидами, антителами или лигандами. В медицинской

the radius of 1 m, the ratio will vary a billion times!

Physical conclusion is obvious: when working with nanoparticles, the role of the surface is crucial and nanocoatings deposited on the surface of the nanoparticles can dramatically change the properties of the latter.

It can be argued that nanocoatings, which alter the functional properties of the nanoparticles are central to nanotechnology. Already we can give two examples of nanoparticles with nanocoatings:

- colloidal quantum dots (the semiconductor inside and the SAW on the surface) are used in practice by such industry giants as Sony and LG in the production of high brightness and contrast monitors;
- biomarkers based on gold nanoparticles with attached oligonucleotides, antibodies or ligands.

Biomarkers are composed of a gold core, to which surface biological molecules are sewn. Due to plasmon resonance, leading to increased light scattering, such biomarkers are easily measured by optical microscopy, and due to the high electron density they are well visible in the transmission electron microscope[1]. In atomic force microscopy the gold particles allow to visualize individual acts of DNA hybridization[2].

It should be noted that the global market for biomarkers has already reached several billion dollars annually. So, in pregnancy tests (to detect the hormone human chorionic gonadotropin) conjugates of gold nanoparticles with antibodies are used. Buying immunochromatographic tests, we also acquire gold nanoparticles with functional nanocoatings.

Gold nanoparticles find new applications in biology and medicine, in particular, in portable sensors for viral and bacterial infections. The high sensitivity of these particles combines with ease of use, safety, reliability, and that much important, with budget price. Now environmentally friendly manufacturing of metal nanoparticles, for example, using plant extracts are actively developed[3].

A separate, important and useful topic are nanocoatings for macroscopic bodies, such as thin waxy film to protect the car body or hydrophobic protection from contamination

диагностике такие биомаркеры также называют биометками.

Биомаркеры или биометки состоят из золотого ядра, к поверхности которого пришиты биологические молекулы. Благодаря плазмонному резонансу, приводящему к усилению рассеяния света, такие метки удобно регистрировать с помощью оптической микроскопии, а за счет высокой электронной плотности они хорошо видны в просвечивающий электронный микроскоп[1]. В атомно-силовой микроскопии золотые метки позволяют визуализировать отдельные акты гибридизации молекул ДНК[2].

Следует отметить, что мировой рынок биомаркеров уже составляет несколько миллиардов долларов. Так, в тестах на беременность (на обнаружение гормона хорионического гонадотропина человека) используют конъюгаты золотых наночастиц с антителами. Покупая иммунохроматографические тесты, мы также приобретаем золотые наночастицы с функциональными нанопокрытиями.

Наночастицы золота находят новые применения в биологии и медицине, в частности, в портативных сенсорах на вирусные и бактериальные инфекции. При этом высокая чувствительность сочетается с удобством использования, безопасностью, надежностью и, что немало важно, с бюджетной ценой. Сейчас активно разрабатывают экологически чистые производства наночастиц металлов, например, с помощью экстрактов растений[3].

Отдельная важная и полезная тема – нанопокрытия макроскопических тел, например тончайшая восковая пленка для защиты кузова автомобиля или гидрофобная защита стекла

1 Преснова Г.В., Рубцова М.Ю., Преснов Д.Е., Григоренко В.Г., Яминский И.В., Егоров А.М. Применение конъюгатов стрептавидина с наночастицами золота для визуализации единичных взаимодействий ДНК на поверхности кремния. – Биомедицинская химия, т. 60, № 5, с. 538–542.

2 Дубровин Е.В., Преснова Г.В., Рубцова М.Ю., Григоренко В.Г., Иванин А.И., Егоров А.М., Яминский И.В. Применение сканирующей зондовой микроскопии в решении задач молекулярной диагностики. – Биомедицинская химия, т. 60, № 5, с. 543–547.

3 Love A.J., Makarov V., Yaminsky I., Kalinina N., Taliansky M.E. The use of tobacco mosaic virus and cowpea mosaic virus for the production of novel metal nanomaterials. – Virology, № 449, 133–139 (2014).

for glass. But perhaps it is not as exciting as coating of the nanoparticles. Many new discoveries, ideas and technological implementations in the field of nanocoating of the nanoparticles are yet to come. Also a lot of problems that must be addressed. I would like to wish all the enthusiasm and success in this way.

Alexey Alekseyev
Director General of the SemiTEq JSC, Ph.D.

Nanocoatings replaced the traditional technology of functional coatings. The use of nanomaterials and nanocoatings in mechanical engineering is topical primarily for the aerospace industry, propulsion engineering and automotive industry. Although the core competence of SemiTEq is the development and production of systems for the manufacturing of electronic components, equipment for the deposition of functional nanocoatings is a close area for us. The applied technologies are basically similar, but the only difference is the need to apply coatings on machine parts and tools. It does not require peculiar to our equipment cleanliness and quality of so-called "thin films", which greatly simplifies the task.

Functional nanocoating is just a new trend, however, we note the constant growth of this market segment. Among the promising technologies should pay attention to atomic layer deposition (ALD). This technology provides the ability to control the properties of materials at the atomic level when applying layers of different elemental composition, structure and thickness to achieve the required characteristics. The range of practical applications of ALD involves thin-film coatings not only in photovoltaics and optics, but also in hardening of glass, biocompatible coatings, protection against tarnishing and corrosion, as well as in the formation of various functional nanocoatings.

There is a growing use of reliable and universal processes of physical vapour deposition (PVD) for various products, including cutting tools. One of the most popular and common in this area are the gas-thermal sputtering and ion-plasma magnetron sputtering.

от загрязнений. Но, наверное, она не так увлекательна, как нанопокрытия наночастиц. Многие новые открытия, идеи и технологические воплощения в области нанопокрытий наночастиц еще впереди. Также и много проблем, которые надо будет решать. Хочется всем пожелать энтузиазма и успехов на этом пути.

Алексей Алексеев
генеральный директор компании "Научное и технологическое оборудование" (ЗАО "НТО", SemiTEq), к.ф.-м.н.

Нанопокрытия пришли на смену уже традиционной технологии функциональных покрытий. Применение наноматериалов и нанопокрытий в машиностроении актуально прежде всего для авиационной и космической промышленности, двигателе- и автомобилестроения. Несмотря на то, что ключевой компетенцией ЗАО "НТО" является разработка и производство систем для создания электронной компонентной базы, оборудование для нанесения функциональных нанопокрытий является близким для нас направлением. Применяемые технологии в основном схожи, а отличие заключается лишь в необходимости наносить покрытия на детали машин и инструмент. При этом не требуются свойственные нашему оборудованию чистота и качество так называемых "тонких пленок", что значительно облегчает задачу.

Функциональные нанопокрытия – достаточно молодое направление, тем не менее мы с коллегами отмечаем постоянный рост данного сегмента рынка. Среди перспективных технологий стоит обратить внимание на атомно-слоевое осаждение (ALD). Эта технология предоставляет возможность управления свойствами материалов на атомарном уровне при нанесении слоев разного элементного состава, структуры и толщины для достижения требуемых характеристик. Область практических применений технологии ALD включает нанесение тонкопленочных покрытий не только в фотовольтаике

New technologies for the production of nanostructured coatings replace the outdated and environmentally harmful (in particular, galvanic technology), while there is no significant rise of cost of the process. In my opinion, the most interesting projects carried out Keldysh Research Centre and VIAM developing, in particular, nozzles and turbine blades with nanostructured coatings. I believe that functional nanocoatings have a great future and a huge field of applications, which over time will expand.

Dilda Smagulova
engineer, MBA, head of the International research group, PFUR

Dmitry Burlutskiy
development engineer, head of the Research group for interdisciplinary studies, PFUR

The role of nanotechnology in today's market of innovative materials is characterized by high rates of development of functional nanocoatings. Major target segments are construction, coatings that protect from the external environment, the military industrial complex (corrosion protection and textiles), household goods (easy-clean and anti-microbial coatings), automotive (corrosion protection and hydrophobic coatings).

Growing demand for nanocoating is associated with the rapid development of the market of nanomaterials. Thus, only in the United States over the past five years, the market ща nanomaterials grew more than three times. For nanocoatings average annual growth estimate of 43%. In the EU and North America, as well as in Japan the long-term programs of development and introduction of nanomaterials are implemented. The main problem should be considered the practical development of technologies that will allow the production of the required volumes of nanomaterials that are competitive on the markets. Due to this, the production of nanomaterials in recent years, surely becomes industrial. In particular, it reduces the cost of production of carbon nanotubes. Researches in this area are conducted in MEPhI, Lomonosov MSU, MISIS, PFUR, MUCTR, the number of laboratories and research groups in Rybinsk,

и оптике, но и в упрочнении стекла, получении биосовместимых покрытий, защите от потускнения и коррозии, а также формировании различных функциональных нанопокрытий.

Все большее применение получают надежные и универсальные процессы физического осаждения покрытий (PVD) на различные изделия, в том числе на режущий инструмент. Одними из наиболее востребованных и распространенных в этой сфере являются газотермическое напыление и ионно-плазменное магнетронное распыление.

Новые технологии получения наноструктурированных покрытий заменяют устаревшие и экологически вредные (в частности, гальванические технологии), при этом не происходит сильного удорожания технологического процесса. На мой взгляд, наиболее интересные работы сегодня ведут ГНЦ "Центр Келдыша", а также "ВИАМ", разрабатывающие, в частности, сопла двигателей и лопатки турбин с наноструктурированными покрытиями. Считаю, что функциональные нанопокрытия имеют большое будущее и огромную сферу применений, которая со временем будет только расширяться.

Дмитрий Бурлуцкий
инженер-конструктор, руководитель Научной группы по междисциплинарным исследованиям РУДН

Дильда Смагулова
инженер, MBA, руководитель Международной научной группы РУДН

Роль нанотехнологий на современном рынке инновационных материалов характеризуют высокие темпы развития технологий функциональных нанопокрытий. Крупными целевыми сегментами для них являются строительство, производство покрытий, защищающих от воздействия внешней

Izhevsk, Novosibirsk. US and NATO, Japan invested hundreds of millions of dollars in research and production of nanomaterials, manufacturing of equipment and structures with nanocoatings. Russia and those international associations, in which she plays a significant role (BRICS, CSTO, Eurasian Union) should also to pay essential attention to these questions, in order not to fall out of the scientific and technological competition.

Experts expect much from the massive use of nanocoatings in the energetics. It is expected that in the nearest future for energetics will account for about 13% of world consumption of nanoproducts, and in the foreseeable future developments in nanotechnology will help to make a revolutionary leap in the development of the production and conversion of energy. Given the low diversification of the Russian economy, the relationship between the financial sector and energy prices, such developments can hit it. It should be noted that the Russian government last year approved the forecast of national science and technological development up to 2030, in which new materials and nanotechnologies are included among the priority areas of development of science and technology.

As noted above, the production of nanocoatings is already an important segment of nanotechnology. An important area will be the development of self-cleaning and self-healing coatings. Modification of the adhesion of surfaces will significantly change the number of traditional technologies, for example, in the construction of pipelines, which is important for the oil industry.

In connection with our topic the projects for the production of innovative ceramic coatings for industry, aircraft and medicine are interesting, which implements nanotechnology centre SYGMA.Novosibirsk of Technopark of Novosibirsk Akademgorodok. In particular, they are developing ceramic scalpels, heavy-duty ceramic coatings for industrial machinery, as well as a special ceramic coating for aluminum engine parts for unmanned aerial vehicles, which reduces friction and increases the service life of machinery. This is a great example of cooperation between technopark, the regional branch of Russian Academy of Sciences and the regional government. This collaborative model should be implemented in other regions. ■

среды, ВПК (антикоррозийная защита и текстиль), товары бытового назначения (легко чистящиеся и противомикробные покрытия), автомобильная промышленность (антикоррозийная защита и гидрофобные покрытия).

Рост спроса на нанопокрытия связан с быстрым развитием рынка наноматериалов. Так, только в США за последние пять лет объем рынка наноматериалов вырос более чем в три раза. При этом для нанопокрытий среднегодовой рост составил 43%. В странах ЕС и Северной Америки, а также в Японии сформированы долговременные программы развития и практического использования наноматериалов. В качестве основной проблемы определяется практическое освоение технологий, которые позволят обеспечить производство необходимых объемов наноматериалов, конкурентоспособных на рынках сбыта продукции. Благодаря этому производство наноматериалов в последние годы уверенно выходит на промышленный уровень. В частности, удешевляются технологии производства углеродных нанотрубок. Исследования в этой области ведутся в МИФИ, МГУ, МИСиС, РУДН, РХТУ, ряде лабораторий и научных групп в Рыбинске, Ижевске, Новосибирске. США и НАТО, Япония вкладывают сотни миллионов долларов в исследования и производство наноматериалов, изготовление приборов и конструкций с использованием нанопокрытий. Россия и те международные объединения, в которых она играет существенную роль (БРИКС, ОДКБ, Евразийский Союз), также должны уделять этим вопросам существенное внимание, чтобы не выпасть из научно-технологического соревнования.

Особые надежды специалисты связывают с массовым использованием нанопокрытий в сфере энергетики. Ожидается, что уже в ближайшей перспективе на энергетику будет приходиться около 13% мирового потребления нанопродуктов, а в обозримом будущем разработки в сфере нанотехнологий помогут совершить революционный скачок в развитии технологий получения и преобразования энергии. Учитывая низкую диверсификацию российской экономики, зависимость финансового сектора от цен на энергоресурсы, подобное развитие событий может ударить по нашей стране. При этом необходимо отметить, что правительство в прошлом году утвердило прогноз научно-технологического развития России до 2030 года, в котором новые материалы и нанотехнологии включены в число приоритетных направлений развития науки и техники.

Как было отмечено выше, производство нанопокрытий уже составляет важный сегмент рынка нанотехнологий. Одним из важных направлений станет развитие самоочищающихся и самовосстанавливающихся покрытий. Модифицирование адгезии поверхностей позволит существенно изменить ряд традиционных технологий, например, в строительстве трубопроводов, что актуально для нефтяной промышленности.

В связи с рассматриваемой темой интересны проекты по производству инновационных керамических покрытий для промышленности, авиации и медицины, которые реализует Нанотехнологический центр "СИГМА.Новосибирск" из Технопарка новосибирского Академгородка. В частности, ведутся разработки керамических скальпелей, сверхпрочного бронекерамического покрытия для промышленной техники, а также специального керамического покрытия для алюминиевых деталей двигателей беспилотных летательных аппаратов, благодаря которому снижается трение и увеличивается срок службы механизмов. Это замечательный пример сотрудничества технопарка, регионального отделения РАН и правительства области. Такую модель совместной работы необходимо внедрять и в других регионах. ■