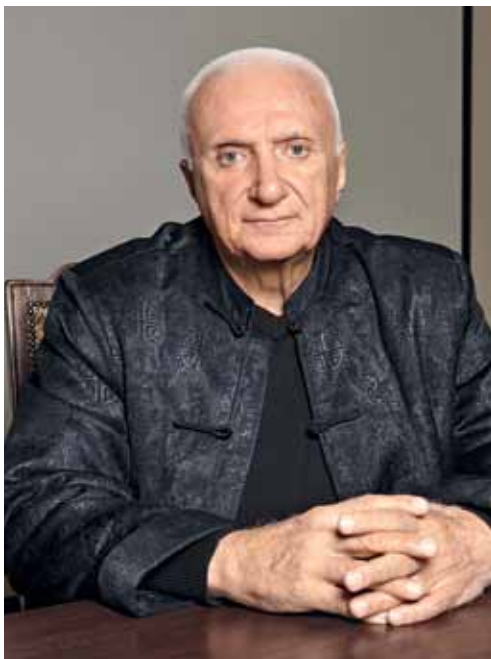




# ЕСЛИ НЕТ ТОЧНОГО НАНОМЕТРОВОГО ЭТАЛОНА, ТО НЕТ И ИНДУСТРИИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

## NANOTECHNOLOGY INDUSTRY CANNOT EXIST WITHOUT EXACT NANOMETER STANDARD

Александр Потемкин, учредитель ООО "НАНО-АТТО Метрия" (Москва)  
Alexander Potemkin, the founder of Nano-Atto Metria Ltd. (Moscow)



В 2011 году была принята "Стратегия инновационного развития России на период до 2020 года", в которой делался акцент на переходе России к инновационному типу экономического развития. В стратегии совершенно справедливо указано, что фундаментом для развития и достижения поставленных целей является формирование институциональной среды инновационного развития. И, естественно, без научной базы, без эвристических научных открытий говорить об инновациях и инновационном типе государства нет смысла.

In 2011, the government adopted the "Strategy of Innovative Development of Russia until 2020", which focuses on Russia's transition to innovative economic development. The strategy rightly states that the foundation for the development and achievement of goals is the institutional environment of innovative development. Naturally, there is no sense in talking about innovations and innovative country if there is no scientific basis and heuristic scientific discoveries.

**Н**аучная программа нашей компании и ее реальные плоды совершенно уникальны. Впервые в мировой практике мы создали эталон нанометрового и субнанометрового диапазонов. Эта разработка не имеет аналогов, в том числе, потому что изготовление стандартов нанометрового диапазона происходит без использования передовых нанотехнологических процессов. Создан принципиально новый тип меры длины, который пока отсутствует в международной классификации системы измерений.

Мы готовы представить свои научные результаты. Однако именно это – организация серьезной научной презентации и экспертизы – оказалось проблемой. Мы хотим продемонстрировать созданный прибор измерений перемещения на сверхмалые величины, который может удовлетворить потребности метрологии в субнанометровом диапазоне, измерять стабильно, не зависеть от внешних помех. Замеры производятся в мобильном режиме при обычных условиях,

то есть не нужно спецкамер, особого очищенного пространства, особых влажности и температуры. Однако, увя, привлечь тех, кто должен, казалось бы, в первую очередь интересоваться нашими разработками, оказалось невероятно трудно: сила отталкивания с их стороны – фантастическая. Возможно, за этим стоит боязнь раскрытия реальной действительности существующей наноиндустрии, а, может, финансовое состояние потенциальных потребителей не позволяет приобрести современную технику?

А кто должен был бы заинтересоваться? Конечно, Министерство образования и науки. Полагаю, что министр у нас человек ученый, и вполне мог бы понять тот факт, что предлагаемое нами – это передовой край мировой науки. Однако – нет. Я официально сообщил ему о возможности нашей лаборатории проводить измерения в нано- и пикометровом диапазоне, просил разрешить продемонстрировать наш прибор экспертам министерства и РАН. Реакции – ноль. Поскольку нет пророка в своем



отечестве, то прибегну к доказательствам крайней актуальности этой проблемы.

Разработкой точного наносталона занимались ученые Новосибирского Института физики полупроводников им. А.В.Ржанова Сибирского отделения РАН. За основу они взяли кремний – нестабильный элемент, который окисляется, меняет свои параметры, следовательно, встает и вопрос о точности при работе в обычной атмосфере. Использовать созданный прибор и эталон (так называемую "кремниевую решетку") в стандартных условиях невозможно и следует работать только в вакууме. А ведь под этот проект выделены бюджетные средства, где же оценка эффективности их использования со стороны министерства и РАН? К сожалению, государственное финансирование влечет за собой автоматическое лоббирование интересов получателя вне зависимости от результатов его деятельности во избежание уличения в некомпетентности и личной заинтересованности.

Американская компания VLSI стала производить наностандарты, применив сочетание технологических процессов, хоть и не используемых в изготовлении электронных компонентов, но все же позволяющих получить элементы с фрагментами нанометровых масштабов. Однако барьеры, затрудняющие их применение в обычных условиях, остались, это запы-

ление микро- и наночастицами, а также физико-химические реакции, изменяющие форму поверхности наностандартов.

Проведение измерений в чистых зонах и в вакууме исключает возможность применения тех же стандартов в обычной атмосфере. Выход – создание стандартов принципиально нового типа. Не статических, размеры которых не изменяются во времени, а динамических – управляемо изменяющих свои размеры. Такая идея витала в воздухе. Появились первые прототипы: из магнитострикционных материалов, из пьезокерамики (совместная разработка ВНИИМС, ООО "Метрологический центр РОСНАНО", ЗАО "Центр перспективных технологий", МГУ им. М.В.Ломоносова при поддержке Фонда инфраструктурных и образовательных программ РОСНАНО). Однако из-за недостатков самих материалов приборы на их основе не нашли метрологического применения ввиду отсутствия стабильности результатов и погрешностей, которые недопустимы для метрологии.

Напрашивается вопрос: каким образом сегодня происходят измерения в нанометровом диапазоне и калибровка оборудования? В России признан и утвержден эталон МШПС-20К, равный 2 мкм (2000 нм). Ввиду отсутствия меньших вещественных

**T**he scientific program of our company and its real products are absolutely unique. We are the first in the world to have created a subnanometer and nanometer standard. This solution is unique inter alia because the nanometer standard is manufactured without using advanced nanotechnology processes. The company created a fundamentally new type of length measurement, which is not yet included in the international measurement classification.

We are ready to present our scientific results. However, organizing a major scientific presentation and expert assessment turned out to be problematic. We would like to demonstrate a device for measuring midget movements, which can meet the metrology needs at a subnanometer level, provides stable

measurements and does not depend on the external interference. The measurements are made in a mobile mode under normal conditions. In other words, there is no need for special chambers, specially purified zones, special humidity and temperature. But, alas, attracting attention of those who must, as it seems, be highly interested in our solution is incredibly difficult: their repulsion is unbelievable. Perhaps, this is so due to the fear of disclosing the existing nanotechnology reality, or may it be that the financial state of the potential consumers makes purchasing modern equipment impossible?

Who should be interested in our solution? Of course, the Ministry of Education and Science. I suppose that we have a very scholarly minister and he could well understand the fact that we are offering a cutting

edge technology of the world science. However, it did not happen. I officially informed him on the capacity of our laboratory to make measurements in nano and picometer ranges and asked him to permit organizing the demonstration of our device to the experts of the Ministry and the Russian Academy of Sciences. No feedback followed. Since no prophet is accepted in his own country, I decided to provide evidence of the extreme urgency of this problem.

The nanostandard was being developed by the scientists of the Rzhanov Institute of Semiconductor Physics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. They used silicon for its basis, which is an unstable element, easily oxidized, changing its parameters, thus raising the issue of the accuracy when used in a normal atmosphere. Using the



стандартов предлагается пользоваться при измерениях не физическими, а математическими действиями, выводя результаты путем расчетов с большими ошибками и погрешностями до сотен нанометров (в ученой среде 100 нм являются не нанометровым, а микронным диапазоном). По данному стандарту так и не было создано аппаратуры для подтверждения заявленных измерений, но были написаны и утверждены методики калибровки.

Развитие нанотехнологий ужесточает требования к системам, погрешности которых должны быть сравнимы с межатомными расстояниями (около 0,2 нм), и требует обеспечения единства линейных измерений в нанометровом диапазоне. Атомно-силовые и электронные микроскопы только тогда могут считаться средствами измерений, когда их параметры будут соответствующим образом аттестовываться, калиброваться и контролироваться, причем последнее – непосредственно в процессе измерений.

Разработка нашей научной группы уникальна. Мы применили специальные материалы, позволяющие создать в сотни раз более точные стандарты на их основе. Особенную ценность эта разработка представляет для нанометрологии, метрологических институтов и ученых, работающих в нано- и пикометровом диапазонах. Представленные нами стандарты по размерам близки к спичечному коробку и легко сопрягаются с измерительными установками типа сканирующих зондовых и электронных микроскопов, оптических интерферометров.

Нанометрология как ключевое звено приборно-аналитической и технологической составляющих

инфраструктуры наноиндустрии обеспечивает единство измерений в нано- и пикометровом диапазонах. Проведение разработок и выпуск продукции нанометрового диапазона опираются на обязательную калибровку измерительных и технологических установок. Мировое сообщество и Росстандарт производят калибровку в основном с помощью статических мер, предназначенных для микрометрового диапазона. Начали применяться также лазерные интерферометры на основе гелий-неоновых лазеров, которые позволили выполнять калибровку и в нанометровом диапазоне. Однако между измерительным прибором, установленным в органах Росстандарта, и измерительной установкой, находящейся в любом другом месте (измерительные установки пользователей – атомно-силовые и электронные микроскопы – не привозятся в спецорганизации для калибровки), должен применяться стандарт – динамическая мера, позволяющая производить калибровку в нанометровом и субнанометровом диапазонах, то есть наш эталон.

Используемые способы грубой калибровки и отсутствие ответственности должностных лиц за процесс калибровки технологического оборудования не гарантируют точного размера произведенного нанопродукта. При этом средство измерения должно быть откалибровано на несколько порядков точнее (например, прибор, измеряющий нанометровые величины, должен быть откалиброван в пикометровом диапазоне). Будем надеяться, что наша разработка в перспективе станет востребованной для обеспечения жизнедеятельности наноиндустрии.

created device and standard (the so-called "silicon grating") under normal conditions is impossible, and it only works in the vacuum. However, their project was allocated money from the state budget, so what happened to the efficiency assessment which must be performed by the Ministry and the Academy? Unfortunately, the state funding automatically entails lobbying interests of the money recipient regardless of the results of his work to avoid the incrimination of incompetence and personal interest.

The American company VLSI started producing nano-standards by applying a combination of

technological processes, which are not used in the manufacture of electronic components, but still enabling to obtain elements with nanometer-scale fragments. However, the barriers that hinder their use under normal conditions remained, which is dusting with micro- and nanoparticles, as well as physical and chemical reactions that change the surface of the nano-gauges.

The need to carry out measurements in purified areas and vacuum eliminates the possibility of using the same standards in a normal atmosphere. The problem can be resolved by creating fundamentally new standards. These standards

must not be static and they must have dimensions that change dynamically rather than with time – the dimensions must change controllably. Some specialists worked on this idea. The first prototypes were from magnetostrictive materials, from piezo-ceramics (joint solution by VNIIMS, Metrological Center RUSNANO, Advanced Technologies Center, Lomonosov Moscow State University with the support of the Fund for Infrastructure and Educational Programs RUSNANO). However, due to the shortcomings of the materials, the devices made from them are not used in metrology because of the lacking stability



Инновационное государство, на мой взгляд, не может таковым стать только благодаря ученым. Ученые работают, в России много интересного делается, но что дальше? А дальше – "дольше века длится день", как писал Чингиз Айтматов.

Мы хотели подтвердить новую разработку наноталонеров и официально зарегистрировать в государственных органах возможность их применения в отечественной метрологии, защитив наноиндустрию и потребителя от псевдо-нанопродуктов и необоснованных расходов на их создание. Так, представленные на рынке нанотрубки, нанопорошки и другие продукты, произведенные без соблюдения культуры измерений, которая требует наличие мер для калибровки и контроля параметров, не могут претендовать на достоверность заявленного размера. Кто кого обманывает?

Калибровка наших стандартов осуществилась, наконец, во ВНИИМС с помощью оптических интерферометров на базе гелий-неоновых лазеров. Следует отметить, что измерительные установки на базе таких лазеров не только громоздки, но и характеризуются ограниченным сроком службы из-за утечки гелия и других причин. Это влечет за собой периодические замены лазеров и сопровождается не только финансовыми затратами, но и необходимостью оформления значительного объема документов, подтверждающих возможность применения новых лазеров в метрологической установке. Мы решили и эту проблему, разработав компактные оптические интерферометры с многократно более долговечными лазерами.

Таким образом, для российской наноиндустрии создан готовый, не имеющий мировых аналогов изме-

рительный метрологический набор – основа калибровочной системы нано- и пикометрового диапазонов. Возникла ситуация бесконечности: мы не хотим продавать этот прибор за рубеж, так как отечественная наноиндустрия сама нуждается в таком стандарте и выделяет огромные средства на обслуживание и развитие данной сферы. Но у тех, кто любит рассуждать о новом экономическом и интеллектуальном развитии страны, пока отсутствует должный интерес к нашему стандарту.

В настоящее время нет прибора, который может аттестовать нашу разработку. Вариант решения проблемы – собрать экспертное сообщество, в которое вошли бы компетентные в данной области физики, и признать необходимость применения нашего прибора в российской наноиндустрии. Наука потому и наука, что в ней возможно понимание нового и без опытного эксперимента на первоначальном этапе. После этого, конечно, уже можно было бы предлагать реализацию нашей разработки разным странам мира.

Да, можно поднимать вопросы о престиже России – это, конечно, дело важное. Но больше вдохновляет идея цивилизационного развития, его нового этапа. Мировое развитие, в соответствии с концепцией "длинных волн конъюнктуры" экономиста Н.Д. Кондратьева, характеризуется сменой технологических укладов (экономических циклов), протяженностью около 50–60 лет. Мы как раз завершаем цикл и стоим на пороге нового. В настоящее время страны-лидеры вступают в шестой технологический уклад, в основании которого лежат молекулярные, клеточные и ядерные технологии, нанобиотехноло-

of results and errors, which are inadmissible in metrology.

This begs the question: how are measurements at nanometer level and calibration of the equipment carried out today? In Russia, the recognized and approved standard MSPS-2OK is equal to 2 microns (2000 nm). Due to the lack of smaller physical standards, it is proposed to use mathematical measurements rather than physical, by deriving the results from calculations with large errors of up to hundreds of nanometers (in a scientific environment, 100 nm is a micron range rather than a nanometer range). No instrument was created

under this standard to confirm the stated measurements, but calibration procedures were well written and approved.

The development of nanotechnology tightens the requirements with respect to systems, where the errors should be comparable to interatomic distances (about 0.2 nm), and requires ensuring the uniformity of linear nanometer measurements. The atomic force and electron microscopes can be considered as measurement tools only when their parameters are properly appraised, calibrated and controlled, with the latter happening directly during the measurement process.

The solution proposed by our research group is unique. We used special materials to create standards which are hundreds of times more accurate. The proposed solution is especially valuable for nanometrology, metrology institutions and scientists working in nano- and picometer ranges. The standards that we present have a size close to a box of matches and are easily integrated into measuring devices, such as scanning probe and electronic microscopes, optical interferometers.

Nanometrology as a key part of instrumental and analytical technological components of the nanotechnology infrastructure ensures



гии и наноэнергетика, нанобионика, наноматериалы, нанороботика и другие наноразмерные производства. Это вызов времени.

США еще в начале 1990-х годов начали развивать исследования в области нанотехнологий. Первая нанотехнологическая программа "Синтез и обработка наночастиц" была профинансирована Национальным научным фондом США в 1991 году [1]. В 1994 году была создана Национальная сеть нанопроизводства, в 1998 году сформирована Межведомственная Рабочая Группа по Нанотехнологиям (IWGN) при Национальном Совете по Науке и Технологиям (NSTC), а в 2001 году принята масштабная Национальная нанотехнологическая инициатива (NNI). Суммарные расходы за период с 2001 по 2011 год составили 14 млрд. долл. [2], а по прогнозным оценкам в 2013 году инвестиции достигли 18 млрд. долл. Создана научно-исследовательская сеть, в которой было задействовано около 40 тыс. экспертов.

В России тоже прослеживается инновационная активность. Была создана государственная корпорация "Российская корпорация нанотехнологий", а к 2013 году наша страна приблизилась по объемам финансирования отрасли нанотехнологий к показателям США. Но куда пошли деньги? Почему в ведомстве А.Чубайса нет возможности измерить нанометры?

Ясно, что развитие нанотехнологий имеет многоуровневый характер и зависит от многих факторов, определяющих его качество. Немаловажный фактор тут – личностный. Если так тяжело и долго добиваешься контакта с ученым экспертным сообществом, то поневоле задумываешься и начинаешь

считать, уже не в нанометрах, а в реальных отрезках времени: годах и десятилетиях. Сколько же России понадобится времени, чтобы приблизиться к лидирующим позициям США, Европы и Японии?

Ученые, исследовавшие эту проблему, полагают, что в России нет заинтересованности организаций в коммерциализации научных результатов, очень слаба кооперация между ними. Мы убедились в этом на личном опыте. Но если нет точного нанометрового эталона, то нет и индустрии нанотехнологий.

Размышляя о нашей стране и ее положении на мировой научной арене, считаю преступлением не замечать имеющиеся достижения в нанометрологии, главное требование к которой заключается в том, что ее уровень развития должен многократно превышать уровень технологии. Наши ученые выполнили эту задачу, мы изготовили не имеющий мировых аналогов прибор – точку опоры нанометрологии – и готовы организовать его поставки. Хочу отметить, что на разработку и изготовление прибора не потрачено ни рубля бюджетных средств. Может, именно в этом и кроется причина равнодушия. Если бы мы финансировались из бюджета, то, вероятно, нашлись бы лоббисты и наших достижений и результатов...

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инновационное развитие – основа модернизации экономики России: Национальный доклад. М.: ИМЭМО РАН, ГУ-ВШЭ, 2008.
2. Обзор ведущих страновых инициатив в области нанотехнологий // <http://www.startbase.ru/knowledge/articles/10/>

the uniformity of measurements in nano- and picometer ranges. The development and manufacture of nanometer-scale products is always associated with the calibration of measurement and technological installations. The international community and Rosstandart carry out calibration mainly using static measures used for micrometer ranges. They also started using interferometers with helium-neon laser, which allows calibrating in a nanometer range. However, a standard must be used to calibrate between the measuring devices installed at the Rosstandart facilities and a measuring facility in any other place

(user measurement devices – atomic force and electron microscopes – are not brought to special organizations for calibration). Such standard must provide dynamic measurement, which allows calibrating in nanometer and subnanometer ranges. This is what our standard offers.

The used methods of rough calibration and no accountability of officials regarding equipment calibration do not guarantee that the produced nano-product will have the needed exact size. The measurement tool should be calibrated more precisely by several orders of magnitude (e.g., a device that measures a nanometer size should be calibrated in

a picometer range). Hopefully, our solution will be in high demand in the future for the implementation of nanotechnological processes.

An innovative country, in my opinion, cannot become truly innovative only with the help of scientists. The scientists in Russia do a lot of interesting things, but what's next? Next – "a day lasts longer than a century", as Chingiz Aitmatov wrote.

We wished to confirm the newly developed nano-standards and register them officially in the state authorities as applicable in the national metrology, thus protecting the nano-industry and consumers



from pseudo-nano products and unreasonable expenses spent for their creation. So, the marketed nanotubes, nanopowders and other products manufactured without respect for the measurement culture, which requires having tools for calibrating and controlling parameters, cannot have the stated size for sure. Who is fooling whom?

Our standards were finally calibrated in the VNIIMS using optical interferometers based on helium-neon lasers. It should be noted that the measurement tools based on such lasers are not only bulky, but also have a limited lifetime due to leakages of helium and other reasons. This necessitates regular replacement of lasers and is associated not only with financial costs, but also with the need to compile a lot of documents in order to confirm the usability of new lasers in the metrology installation. We solved this problem by developing compact optical interferometers with lasers that have much longer life.

Thus, the Russian nanoindustry could receive an unprecedented ready-made metrological set, which is the basis of the calibration system in nano- and picometer ranges. Thus, we face a vicious circle: we do not want to sell this device abroad, because the national nanoindustry itself needs this standard and allocates huge funds for maintaining and developing the sector. But those who like to talk about the new economic and intellectual development of the country demonstrate no interest in our standard.

Currently, a tool which can certify our device does not exist. A possible solution to the problem is to gather an expert community consisting of those who are competent in physics and to recognize the applicability of our device in the Russian nanoindustry. Science is science exactly because it is possible to understand a new thing

even without pilot experiments at the initial stage. Later, of course, it would be possible to propose our solution to other countries of the world.

Yes, raising questions about Russia's prestige is, of course, important. But the idea of civilizational development and its new stage is more inspiring. According to the concept of "long conjuncture waves" proposed by economist N.Kondratiev, the world development is characterized by changes in technological epochs (economic cycles), with a duration of about 50–60 years. We are now at the end of a cycle and standing on the threshold of a new one. Currently, the leading countries are entering into the sixth technological epoch, which is based on molecular, cellular and nuclear technologies, nanobiotechnologies and nanoenergetics, nanobionics, nanomaterials, nanorobotics and other nano-size products. It is the challenge of the time.

In the early 1990s, the USA started developing nanotechnology research. The first nanotechnology program titled "Nanoparticle Synthesis and Processing" was funded by the National Science Foundation in 1991 [1]. In 1994, Americans created a National Nanomanufacturing Network (NNN); in 1998, they created an Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology (IWGN) under the National Science and Technology Council (NSTC), and in 2001, they adopted the ambitious National Nanotechnology Initiative (NNI). The total expenses from 2001 to 2011 amounted to 14 billion USD [2], and it is estimated that in 2013, investment reached 18 billion USD. They established a research network of about 40 thousand experts.

Innovative activity can also be witnessed in Russia. The

government created the Russian Corporation of Nanotechnologies, and by 2013 our country came close to the level of the United States in financing the nanotechnology industry. But where does the money go? Why A.Chubais's office cannot measure nanometers?

It is clear that the nanotechnology development has a multilevel character and depends on many factors that determine its quality. Personality is an important factor here. If it is so hard and long to organize contact with the science expert community, then it makes you think and you start counting not in nanometers but in real periods of time: years and decades. How long will Russia will need to reach the leading positions of the US, Europe and Japan?

Scientists who studied this issue suggest that Russia has no interest in commercialization of scientific results, and cooperation between them is very weak. Now we know it from our personal experience. But nanotechnology industry cannot exist without an exact nanometer standard.

Reflecting on our country and its position in the global scientific arena, I consider it to be a crime not to notice the existing achievements in nanometrology, the main requirement to which is that its development level should significantly exceed the technology level. Our scientists have accomplished this task. We invented a device which is unprecedented in the world, which is the cornerstone of nanometrology, and we are ready to organize its production. I want to draw attention to the fact that not a single ruble of the state funds was spent on the development and manufacture of the device. Perhaps, this explains the sheer indifference. If we were funded from the budget, then there would likely be lobbyists of our achievements and results... ■