



ИССЛЕДОВАНИЕ НАНООБЪЕКТОВ КАК ОБЪЕДИНЯЮЩЕЕ НАПРАВЛЕНИЕ

STUDY OF NANOOBJECTS AS AREA FOR CONSOLIDATION

О.Ф.Вывенко, доктор ф.-м. н., профессор Санкт-Петербургского государственного университета
O.F.Vyvenko, D.Sc., Professor at Saint Petersburg State University



В 2009 году в Санкт-Петербургском государственном университете был создан Междисциплинарный ресурсный центр (МРЦ) по направлению "Нанотехнологии". Благодаря оснащению не только современным, но и даже уникальным для России измерительным оборудованием МРЦ стал одним из наиболее передовых отечественных центров исследования нанобъектов. В том же году в Санкт-Петербурге состоялась первая Международная научная конференция STRANN (от англ. State-of-the-art Trends of scientific Research of Artificial and Natural Nanoobjects). О связи между этими двумя событиями, особенностях формирования программы конференции, сотрудничестве с компанией Carl Zeiss, проблемах и перспективах развития исследований нанобъектов рассказал первый директор МРЦ и один из идеологов и организаторов STRANN, доктор ф.-м. н., профессор СПбГУ Олег Федорович Вывенко.

In 2009, the Interdisciplinary Resource Center (IRS) for Nanotechnology was established in the Saint-Petersburg State University. Due to its being equipped with not only modern but also unique for Russia measuring instrumentation, IRC has become one of the most advanced national research centres for nanoscale objects. In the same year, St. Petersburg hosted the first International Scientific Conference STRANN. The first director of the IRC and one of the STRANN ideologists and organisers, professor at St.Petersburg State University, Oleg F. Vyvenko explains the links between the two events, features associated with drafting the conference programme, collaboration with Carl Zeiss as well as the nanoscale object research development problems and prospects.

Олег Федорович, вы являетесь одним из инициаторов проведения Международной научной конференции STRANN, как возникла эта идея и в чем отличие конференции от других, близких по тематике мероприятий?

История конференции тесно связана с созданием и развитием в Санкт-Петербургском государственном университете МРЦ по направлению "Нанотехнологии". В 2008 году университет стал участником Федеральной целевой программы "Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008-2011 годы".

Поскольку на тот момент СПбГУ не располагал приборами для исследования наноразмерных объектов, мы с коллегами предложили использовать выделенные государством средства на приобретение современных электронных микроскопов. Руководство университета одобрило заявку, и был проведен тендер, в котором победила компания Carl Zeiss. Главным нашим приобретением стал новейший сканирующий ионный гелиевый микроскоп Zeiss ORION, который в то время фактически еще только анонсировался и был поставлен немецкой компанией на очень выгодных для нас



условиях. В 2009 году, когда оборудование установили и запустили в эксплуатацию, появилась идея провести торжественное открытие МРЦ. Однако протокольное мероприятие само по себе мало кому интересно, поэтому было предложено приурочить к открытию центра конференцию, посвященную проблемам исследования нанообъектов. Это предложение нашло поддержку у руководства компании Carl Zeiss, что позволило уже на первую конференцию, получившую название STRANN, пригласить группу ведущих европейских специалистов в области электронной микроскопии.

С тех пор, с 2012 года, конференция STRANN стала проводиться в Санкт-Петербурге регулярно – один раз в два года. Ее отличают междисциплинарность и ориентация на обмен

практическим опытом проведения исследований. Формат конференции подсказали аналогичные мероприятия для пользователей синхротронов, когда специалисты из разных областей знаний делятся результатами применения определенных видов оборудования для решения своих задач. Как известно, особенно много новых идей рождается на стыке наук, поэтому очень важно, что участниками STRANN становятся люди разных специальностей, которые на других мероприятиях обычно не пересекаются. Также мы приглашаем представителей производителей оборудования, которые рассказывают о новых разработках.

В 2014 году в число организаторов вошел университет ИТМО, с которым у нас реализуются совмест-

Mr. Vyvenko, you are one of the initiators of the international research conference STRANN, how did this idea, and what is the difference between the conference and other ones that are similar in the subject of activities?

The history of the conference is closely linked to the creation and development in the St. Petersburg State University of IRC majoring in nanotechnologies. In 2008, the University became a member of the federal targeted programme Development of the Nanotechnology Industry Infrastructure in the Russian Federation in 2008-2011. Since at that time the St. Petersburg State University did not have any instruments for the study of nanoscale objects, my colleagues and I have proposed to use the funds allocated by the state for the purchase of modern electron microscopes. The University leaders approved the application, and a tender, which was won by Carl Zeiss, was held. Our main acquisition was the latest scanning helium ion microscope Zeiss ORION, which was only being announced at the time, and it was supplied by the German company on very favourable terms

for us. In 2009, when the equipment was installed and put into operation, the idea came up to hold a grand opening of the IRC. However, the protocol event itself can attract few people, so it was proposed to coincide with the opening of the Center the conference on the research of nanoobjects. The proposal was supported by the leadership of Carl Zeiss making it possible already at the first conference called STRANN to invite a group of leading European experts in electron microscopy.

Since then, the STRANN conference has been held in St. Petersburg on a regular basis, since 2012, every two years. It is distinguished by interdisciplinarity and focus on the exchange of practical experience in conducting research. The format of the conference suggested similar events for synchrotron users, when experts from various fields of knowledge share the results of the use of certain types of equipment to solve their problems. As it is well known, a lot of new ideas are especially born at the interface of sciences, so it is important that STRANN participants are people of different professions, who do not usually meet

in other events. We also invite representatives of the equipment manufacturers to tell about the new developments.

In 2014, the ITMO University became one of the organisers, with whom we have implemented joint research projects, and which also has some modern equipment for electron microscopy. In 2016 STRANN emphasis in the topics of reports was put on photonics to follow up the UN initiative declaring 2015 the international year of light and light-based technologies.

Why is the conference held once in two years despite the fact that the nanoobject research is developing at quite a good pace?

We also tried a one-year cycle but practice shows that two years are the minimum time to pass from a new idea to some first strong results. For routine studies, it takes less time when physical processes are clear, methods are developed, and only a few parameters of the experiment are to change. In order to obtain breakthrough results, when physical processes are not clear at the first stage of work and it is necessary to act by trial and error, one year is not sufficient.



ные исследовательские проекты, и который также располагает современным оборудованием для электронной микроскопии. На STRANN 2016 акцент в тематике докладов был сделан на фотонику в продолжение инициативы ООН, объявившего 2015 год международным годом света и световых технологий.

Почему конференция проводится один раз в два года при том, что наука в области исследования нанобъектов развивается достаточно динамично?

Мы пробовали и годичный цикл, но практика показывает, что два года – это минимальный срок, чтобы пройти от новой идеи до первых серьезных результатов. Для рутинных исследований, когда физические процессы понятны, методы отработаны, и меняются только некоторые параметры эксперимента, требуется меньше времени. Но для получения прорывных результатов, когда на первой стадии работ физические процессы не ясны, и приходится действовать методом проб и ошибок, одного года недостаточно.

Насколько результативна практика привлечения докладчиков из разных областей знания?

Современное научное сообщество имеет, образно говоря, клановую структуру, при которой представители разных областей знаний очень мало общаются друг с другом и редко делятся опытом. Такие мероприятия, как наша конференция, позволяют преодолеть эти недостатки. Например, на STRANN

началось наше сотрудничество с Институтом радиотехники и электроники РАН, результатом которого стала методика получения перфорированного графена с помощью пучков гелиевых атомов. На конференции 2016 года разработчикам нанокompозитов оказался полезен опыт исследователей ДНК в области измерения проводимости нанопроволок. И таких примеров достаточно много. Считаю, что если на конференции с сотней участников сложатся 10 совместных работ, то это будет очень хорошим результатом.

Каковы принципы организации работы МРЦ?

Поскольку СПбГУ является научно-образовательной организацией, основой работы центра изначально стала ориентация на получение научных результатов при безвозмездном предоставлении исследовательских услуг. Для контроля создана система учета использования ресурсов. Высокая эффективность работы центра способствовала тому, что СПбГУ получил от государства дополнительные средства, которые были использованы для создания МРЦ по другим направлениям. В настоящее время в университете более 20 оснащенных современным оборудованием и укомплектованных квалифицированным персоналом ресурсных центров, и мы активно используем их возможности.

Каким оборудованием оснащен МРЦ?

Упомянутый сканирующий ионный микроскоп Zeiss ORION способен работать с субнано-

How effective is the practice of attracting speakers from different fields of expertise?

The modern scientific community has the clan structure in which representatives of different fields of knowledge communicate with each other very little and share their experience rarely. Events, such as this conference, is to overcome the disadvantages. For example, STRANN started our cooperation with the Institute of Radio Engineering and Electronics, the Russian Academy of Sciences, which resulted in the method of

the preparation of perforated graphene with the beams of helium atoms. At the 2016 conference, it was useful for the nanocomposite developers to study the DNA researchers' experience in measuring the conductivity of nanowires. There are many more such examples. I think that if a conference with a hundred of participants makes 10 joint works, it will be a very good result.

What are the IRC business process principles?

Since the St. Petersburg State University is an academic institution, a key focus in the Center's

activities has initially been on the scientific results obtained during the gratuitous provision of research services. To control, an accounting system was created to take into account the use of resources. The Center high performances contributed to the fact that the St. Petersburg State University has received from the state some additional funds that were used to create IRCs in other areas. Currently, the University has more than 20 resource centres equipped with up-to-date equipment and staffed by qualified personnel, and we are committed to make good use of them.



метровым разрешением. Поскольку ионы имеют большую массу, чем электроны, уменьшается влияние дифракции и увеличивается область их рассеяния на атомах исследуемого материала, что улучшает контраст изображений. Кроме того, ток пучка ионов значительно меньше, чем ток пучка электронного микроскопа, поэтому удается минимизировать модификацию образца в процессе исследования. Система компенсации заряда поверхности позволяет эффективно работать с диэлектриками.

Сканирующий электронный микроскоп Zeiss MERLIN с полевым эмиссионным катодом, колонной электронной оптики GEMINI-II и безмаслянной вакуумной системой дополнительно укомплектован приставкой для рентгеновского микроанализа и системой регистрации дифракции обратнорассеянных электронов (EBSD).

Еще один сканирующий электронный микроскоп – Zeiss SUPRA 40VP – оснащен системой регистрации катодolumинесценции, системой регистрации токов, наведенных электронным лучом (EBIC), а также микроманипуляторами, позволяющими модифицировать наноструктуры с контролем в режиме реального времени.

Кроме того, центр располагает рабочей станцией Zeiss AURIGA Laser с пересекающимися ионным и электронным пучками, настольным сканирующим электронным микроскопом Mini-SEM и другим аналитическим оборудованием, среди которого оптические микроскопы, комплекс пробоподготовки.

Для просвечивающей электронной микроскопии мы используем Zeiss LIBRA 200FE с автоэмиссионным эмиттером, энергетическим ОМЕГА-фильтром и запатентованной Carl Zeiss системой освещения по Келеру. Микроскоп применяется для характеристики кристаллической решетки и химической природы нанообъектов, локального анализа элементного состава, анализа многослойных гетероструктур, идентификации дефектов кристаллической решетки полупроводниковых материалов, исследования тонкой структуры биологических объектов, а также других задач.

Какими работами в настоящее время занимается ваша научная группа?

Объемы финансирования науки сейчас сокращены, поэтому исследования ведутся в основном в инициативном порядке. Мы занимаемся ионной гелиевой микроскопией, в частности, изучаем энергетическое распределение вторичных электронов, которое очень важно, например, для развития ионно-лучевой литографии, позволяющей получать элементы размером менее 10 нм. Написали одну из основных глав в книге об ионной гелиевой микроскопии. Изучаем нитрид галлия и возможности повышения эффективности светодиодов на его основе. Идея состоит в том, чтобы при росте кристалла сформировать дислокации, которые заставят рекомбинировать носители в настолько узкой области, чтобы минимизировать влияние

What equipment IRC is equipped with?

The previously mentioned scanning helium ion microscope Zeiss ORION is designed to deal with the sub-nanometer resolution. Because ions have a greater mass than electrons, the influence of diffraction is reduced, and their range of scattering on the material atoms increases thus improving image contrast. Moreover, the ion beam current is significantly lower than the beam current of the electron microscope, so it is possible to minimise modifications of the sample under research. The surface charge compensation makes

it possible to effectively work with dielectrics.

The scanning electron microscope Zeiss MERLIN with a field emission cathode, an GEMINI-II optical column and oil-free vacuum system is additionally equipped with an attachment for X-ray microanalysis and an electron backscatter diffraction system (EBSD).

Another scanning electron microscope, Zeiss SUPRA 40VP is equipped with cathodoluminescence detector, the electron beam induced current (EBIC) system as well as with micro-manipulators allowing to modify nanostructures under real-time control.

In addition, the Center has the Zeiss AURIGA crossbeam workstation, desktop scanning electron microscope Mini-SEM and other analytical equipment including optical microscopes and a sample preparation kit.

For transmission electron microscopy, we use Zeiss LIBRA 200FE with a field emission cathode, an OMEGA energy filter and the Koehler illumination system patented by Carl Zeiss.

The microscope is used to describe the crystal lattice and the chemical nature of the nanoobjects, a local analysis of the elemental composition, the analysis of multilayer



дефектов кристаллической структуры и максимизировать излучение. Также изучаем управление магнитными свойствами пленок при помощи ионного пучка.

С какими научными организациями ведется сотрудничество?

В Санкт-Петербурге сотрудничаем с Физико-техническим институтом им. А.Ф.Иоффе РАН, Академическим университетом РАН, Политехническим университетом Петра Великого, университетом ИТМО, Государственным технологическим институтом. Также в России совместные работы ведутся с научными организациями из Москвы, Нижнего Новгорода, Екатеринбурга, Новосибирска. Прочные контакты установлены с несколькими немецкими университетами.

Получаете ли вы заказы на НИРы от коммерческих компаний?

Пять-шесть лет назад запросов поступало достаточно много, в частности, на задачи обратного инжиниринга. В основном речь шла об исследованиях в области полупроводников, но были проекты и в медицине, например мы участвовали в разработке покрытий для зубных имплантов. К сожалению, большинство тех заказчиков – преимущественно маленьких компаний, стартапов – прекратили свою деятельность. Здесь следует сказать, что поддержка малого бизнеса в области высоких технологий в нашей стране

организована не лучшим образом. На стадии разработки нового продукта такие компании нуждаются в помощи государства. В Германии есть механизмы, когда государство берет на себя до 50% затрат на НИОКР, в США венчурное финансирование работает очень эффективно, а в России найти средства на новые разработки очень сложно.

Каковы, на ваш взгляд, тенденции в области исследования нанообъектов?

Материаловедению и, в частности нанотехнологиям, необходима доказательная база, благодаря которой мы можем однозначно установить, что является причиной того или иного процесса и явления. Созданию и расширению такой базы способствует развитие методов исследований, поэтому закономерна тенденция роста их числа и возможностей, причем новые методы быстро внедряются в научную практику. В этих условиях очень важно информировать научное сообщество о новых методах и практическом опыте их применения. Решается эта задача в том числе благодаря таким конференциям, как STRANN.

Какие методы исследований развиваются наиболее активно?

Значительный прогресс достигнут в области сканирующей зондовой микроскопии. На STRANN 2014 выступали китайские коллеги, которым удалось с помощью атомно-силовой микроскопии исследовать водородные

heterostructures, identification of crystal defects of semiconductor materials, research into the fine structure of biological objects and also other tasks.

What projects is your research group currently engaged in?

The scope of funding for science is now reduced, so the research is carried out mainly on our own initiative. We are engaged in a helium ion microscopy, in particular, we study the energy distribution of secondary electrons, which is very important, for example, for the development of ion-beam lithography thus allowing to obtain elements of less than

10 nm. We wrote one of the main chapters in the book about helium ion microscopy. We are learning gallium nitride and the possibility of increasing the efficiency of LEDs based on it. The idea is that during the crystal growth to form dislocations that make recombine carriers in the narrow region so as to minimise the influence of crystal defects and to maximise radiation. Also we study the control magnetic properties of films using an ion beam.

What research organisations do you cooperate?

In St. Petersburg, we are cooperating with the Ioffe Institute,

Academic University, Peter the Great Polytechnic University, ITMO University, State Institute of Technology. In Russia some joint activities are also carried out with research institutions from Moscow, Nizhny Novgorod, Yekaterinburg and Novosibirsk. Firm contacts have been established with several German universities.

Are you getting any R&D orders from business companies?

Five or six years ago, a lot of requests used to be sent, in particular, some tasks related to reverse engineering. Basically, it was about the research in the field of semiconductors, but



связи. Также отмечу развитие атомно-зондового метода, в англоязычной терминологии – Atom Probe, который позволяет на атомарном уровне исследовать строение вещества.

В последнее десятилетие развивается просвечивающая электронная микроскопия с субангстремным разрешением. Новые микроскопы с коррекцией аббераций позволяют наблюдать структуру материалов фактически на уровне атомных рядов. Например, сочетание электронной микроскопии высокого разрешения со спектроскопией характеристических потерь энергии электронов дает возможность в сканирующем режиме определять композицию, что очень важно для исследований наноматериалов.

Существует ли обратная связь между производителями и пользователями приборов и насколько она эффективна?

Безусловно, такая связь не только существует, но и достаточно эффективно работает. В нашей конференции регулярно принимают участие специалисты компании Carl Zeiss, которые не только рассказывают о своих разработках, но и являются заинтересованными слушателями. Производителям оборудования требуется понимание того, что нужно пользователю. Поэтому они собирают информацию о том, над какими проблемами работают исследователи, какие методы при этом используют, каких возможностей им не хватает.

Что необходимо МРЦ для дальнейшего развития?

На мой взгляд, нашему центру, да и всему Северо-западному региону, требуется электронная микроскопия с коррекцией аббераций. В Японии просвечивающих микроскопов с коррекцией аббераций около 100, в России – пока всего по пальцам перечесть; а нового уровня скорректированных по абберациям низковольтных сканирующих микроскопов сверхвысокого разрешения нет и в Японии.

Если мы хотим развивать передовые научные направления, то необходимо оснащать научные центры современным исследовательским оборудованием самого высокого уровня. Например, единственный в России гелиевый микроскоп Zeiss ORION мы получили одними из первых в мире. С его помощью были выполнены работы, которые опубликованы в ведущих научных журналах, представлены на международных конференциях, в том числе и на STRANN. Специалисты нашего центра накопили уникальный опыт работы. Эта тема остается актуальной и сегодня, но технологии развиваются очень быстро. Мы пристально следим за развитием технологий, за тенденциями в науке и очень важно, чтобы поддержка научных центров, которые показали свою конкурентоспособность, не прекращалась.

Интервью: Дмитрий Гудилин

there were also some projects in medicine, for example, we participated in the development of coatings for dental implants. Unfortunately, the majority of those customers mostly represented by smaller companies and startups ceased their operations. It should be said that the support to small business in the field of high technologies in our country is not organised in the best way. At the stage of new product development, such companies are in the need of the state aid. In Germany, there are mechanisms where the State takes over up to 50% of R&D expenditures; in the US venture capital works very effectively, and it is

very difficult to find funds for new developments in Russia.

What do you think about the nanoobject research trends?

Materials science and nanotechnology in particular needed evidence base through which we can clearly establish the cause of any process or phenomenon. The creation and expansion of such a base is facilitated by the development of research methods, so it is quite natural the tendency of growth of their numbers and capabilities, and new methods are being introduced rapidly in the scientific practice. In these circumstances

it is very important to inform the scientific community on new techniques and the practical experience in their application. We are addressing the issue, also through such conferences as STRANN.

What research methods are developing most actively?

Significant progress has been made in the field of scanning probe microscopy. At STRANN 2014, our Chinese counterparts have presented investigation of hydrogen bonds with the help of atomic force microscopy. I would like to also note the development of the Atom Probe method which