



ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИРОВОГО УРОВНЯ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

WORLD-LEVEL FUNDAMENTAL AND APPLIED RESEARCHES IN FIELD OF SEMICONDUCTOR PHYSICS

Рассказывает Александр Васильевич Латышев, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, директор Института физики полупроводников им. А.В.Ржанова СО РАН

Interview with Alexander V. Latyshev, RAS Corresponding Member, Doctor of Science, Director of Rzhhanov Institute of Semiconductor Physics of SB RAS



Одним из признанных лидеров в области нанoeлектроники и нанотехнологий является Институт физики полупроводников им. А.В.Ржанова СО РАН (ИФП СО РАН). Институт, получивший имя своего основателя и долгое время возглавлявшего его директора – академика А.В.Ржанова, создан на благодатной сибирской земле в центре Новосибирского академгородка в 1964 году. Уже на заре становления и развития института проводились научно-исследовательские работы по изучению атомной структуры тонких пленок и электронных свойств на поверхности полупроводников и диэлектриков как в их классическом, так и квантовом проявлении. Таким образом, приоритетным научным направлением ИФП СО РАН изначально была нанотехнология, несмотря на то, что полвека назад такой термин еще не применялся. В настоящее время в институте работает около 1000 человек, в том числе два академика РАН, четыре член-корреспондента РАН, 41 доктор наук и 140 кандидатов наук. Об основных

направлениях фундаментальных и прикладных исследований, образовательной деятельности и планах развития института рассказал директор ИФП СО РАН Александр Васильевич Латышев.

One of the recognized leaders in the field of nanoelectronics and nanotechnology is the Rzhhanov Institute of Semiconductor Physics of SB RAS (ISP SB RAS). The institute, named after its founder and longstanding director, academician A.V.Rzhhanov, was created on the fertile Siberian land in the centre of Novosibirsk's Akademgorodok, in 1964. Already in the first stages of its the formation and development the institute carried out researches of the atomic structure of thin films and the electronic properties on the surface of semiconductors and dielectrics in both their classical and quantum manifestation. Thus, the nanotechnology, despite the fact that half a century ago this term was not used, was initially the priority research area for ISP SB RAS. Currently the Institute employs about 1,000 people, including two academician of the Russian Academy of Sciences, four corresponding members of RAS, 41 DSc's and 140 PhD's. Alexander V. Latyshev, Director at ISP SB RAS, told us about the main areas of fundamental and applied researches, educational activities and development plans of the institute.



Александр Васильевич, какое место занимает ИФП СО РАН в системе российской науки и высшего образования?

Наш институт сегодня – это интегрированный в международное научное сообщество междисциплинарный исследовательский центр, который сочетает достижения в области фундаментальных исследований с практической реализацией высокотехнологичных инновационных разработок, востребованных современной экономикой, и с подготовкой высококвалифицированных науч-

ных исследователей и инженерно-технических специалистов. ИФП СО РАН имеет существенный задел в области выполнения больших академических и промышленно-ориентированных проектов, располагает высококвалифицированными специалистами с многолетним опытом научных исследований, обладает дорогостоящим научным, технологическим и диагностическим оборудованием, имеет опыт обслуживания такого оборудования, включая проведение сервисных процедур.

Mr. Latyshev, what is the place of the ISP SB RAS in Russian science and higher education?

Our institute today is an interdisciplinary research center that is integrated into the international scientific community. It combines achievements in basic research with practical implementation of high-tech innovative developments required by the modern economy and with the education of highly qualified researchers and engineers. ISP SB RAS has a significant backlog in the implementation

of large academic or industrial-driven projects, has highly qualified professionals with years of experience in the implementation of research projects, has expensive scientific, process and analytical equipment, has experience in maintenance of such equipment, including service procedures.

The Institute cooperates with the leading enterprises of high-tech industry in the Siberian region and in Russia as a whole, with Federal ministries and agencies. Close cooperation with

the best universities of Siberia provides training of personnel of higher qualification – candidates and doctors of sciences.

The Institute occupies a leading position in the field of research physics of semiconductors, condensed matter physics, physics and technology of low-dimensional systems, opto-, nano- and acousto-electronics, sensorics, single photonics, single electronics, quantum electronics, spintronics. Basic fundamental achievements of ISP SB RAS are associated with the



Институт взаимодействует с ведущими предприятиями высокотехнологической промышленности в Сибирском регионе и России в целом, с федеральными министерствами и ведомствами. Тесное сотрудничество с лучшими вузами Сибири обеспечивает подготовку кадров высшей квалификации – кандидатов и докторов наук.

Институт занимает ведущие позиции в области исследования физики полупроводников, физики конденсированного состояния, физики и технологии низкоразмерных систем опто-, нано- и акустоэлектроники, сенсорики, однофотоники,

одноэлектроники, квантовой электроники, спинтроники. Основные фундаментальные достижения ИФП СО РАН связаны с изучением атомных процессов и электронных явлений на поверхности полупроводников и границах раздела полупроводниковых структур, квантовых эффектов в структурах пониженной размерности, в том числе в эпитаксиальных сверхрешетках и гетероструктурах с квантовыми ямами. Большое значение имеют работы института по созданию ЭКБ для нового поколения устройств нано- и оптоэлектроники, основанных на использовании низко-

study of atomic processes and electron phenomena on semiconductor surfaces and at interfaces of semiconductor structures, of quantum effects in structures of reduced dimensionality, in particular, in epitaxial superlattices and heterostructures with quantum wells. Works of institute on creation of electronic components are important for the new generation devices for nano- and optoelectronics based on the use of low-dimensional structures, in which due to the transition to systems of nanometer scale the quantum mechanical nature

of the quasiparticles in a solid begins to be shown.

What are the challenges facing the Institute?

The main tasks of ISP SB RAS are associated with obtaining scientific knowledge in the field of condensed matter physics and creation of in-demand high-tech products. They are solved by increasing the efficiency of basic and applied researches, the formation of large "locomotive" projects, organization of stable relations with industrial enterprises, modernization of production lines and scientific

equipment, the consolidation of the scientific and technological base with the goal of its more effective use by a wide range of researchers and producers of high-tech products.

Main trends in the development of semiconductor electronics are associated with the evolution of the geometric size of the transistor that has for many decades subject of the empirical Moore's law. Unfortunately, it is difficult for our institute to keep up in the battle for reduction of the size of transistors and increasing the degree of their integration, as each transition

размерных структур, в которых за счет перехода к системам нанометрового масштаба начинает проявляться квантово-механическая природа квазичастиц в твердом теле.

Какие задачи стоят перед институтом?

Основные задачи ИФП СО РАН связаны с получением научных знаний в области физики конденсированного состояния и созданием востребованных высокотехнологических продуктов. Они решаются путем повышения эффективности фундаментальных и прикладных исследований, формирования крупных "локомотивных" проектов, организации устойчивых связей с промышленными предприятиями, модернизации технологических линий и научного оборудования, консолидации научно-технической базы с целью ее более эффективного использования широким кругом исследователей и производителей высокотехнологической продукции.

Основные тенденции развития полупроводниковой электроники связаны с эволюцией геометрического размера транзистора, которая вот уже много десятков лет подчиняется эмпирическому закону Мура. К сожалению, нашему институту трудно участвовать в битве за уменьшение размера транзисторов и увеличение степени их интеграции, так как каждый переход к меньшему размеру требует линейки оборудования предыдущего поколения. У нас такой возможности нет! Тем не менее, мы конструируем нанотранзисторы, используя другие подходы, в том числе в сотру-

дничестве с зарубежными партнерами. Например, проводим исследования по переходу на гетероэпитаксиальные полупроводниковые структуры. Другими словами, мы разрабатываем физико-химические основы для технологий получения новых материалов электроники будущего. В числе приоритетных направлений института – развитие электронной компонентной базы на новых физических принципах и переход от двумерной к трехмерной схемотехнической архитектуре.

Отдельной строкой в программе развития ИФП СО РАН прописано развитие основ квантовых вычислений! Это требует консолидации усилий физиков и технологов, теоретиков и экспериментаторов, инженеров и специалистов вычислительных технологий. Имеющийся задел в изучении квантовых свойств гетероэпитаксиальных структур, полупроводниковых технологиях, квантовой оптике и квантовой информатике, устройствах квантовой криптографии позволяет надеяться на прорывные результаты в области квантовых вычислений.

Какие достижения ИФП СО РАН вы считаете наиболее значимыми?

Как я уже отмечал, основные фундаментальные работы института связаны с исследованием атомных процессов и электронных явлений на поверхности полупроводников и границах раздела полупроводниковых структур, квантовых эффектов в структурах пониженной размерности, в том числе в эпитаксиальных сверхрешетках и гетерострукту-

to a smaller size requires the equipment of the previous generation. We have no such possibility! However, we design nanotransistors using other approaches, including in cooperation with foreign partners. For example, research the use of heteroepitaxial semiconductor structures. In other words, we are developing physical-chemical fundamentals for the obtaining new materials for electronics of the future. Among the priority areas is the development of electronic components on new physical principles and the transition from two-dimensional

to three-dimensional circuit architecture.

A separate paragraph in the program of development of ISP SB RAS devoted to the development of the foundations of quantum computing! This requires consolidation of efforts of physicists and technologists, theorists and experimentalists, engineers and experts in computing technology. Available base in the study of quantum properties of hetero-structures, semiconductor technology, quantum optics and quantum informatics, quantum cryptography devices allow to hope for

breakthrough results in the field of quantum computing.

What achievements of ISP SB RAS do you consider as the most significant?

As I said, the basic projects of the institute are associated with the study of atomic processes and electron phenomena on semiconductor surfaces and at interfaces of semiconductor structures, quantum effects in structures of reduced dimensionality, in particular, in epitaxial superlattices and heterostructures with quantum wells. The developments of infrared



рах с квантовыми ямами. На основе полученных результатов реализованы приборные разработки матричных фотоприемников инфракрасного диапазона для устройств ночного видения и тепловидения, электронно-оптических преобразователей, СВЧ-транзисторов, одноэлектронных транзисторов, однофотонных излучателей и наносенсоров.

ИФП СО РАН входит в число лидеров по разработке молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) – одной из основных технологий современной физики полупроводников и полупроводниковой электроники, представляющей собой процесс послойного, контролируемого эпитаксиального роста различных соединений на уровне одного монослоя. Преимущества МЛЭ базируются на создании четких границ раздела за счет низкой скорости роста и резкого изменения потоков, недоступных в других технологиях. Принимая во внимание атомарную чистоту материалов в условиях сверхвысокого вакуума, лучше чем окружающий нас космос, возможны инженерия и создание несуществующих в природе новых материалов с заданными свойствами. Институт активно разрабатывает и изготавливает сложное оборудование для МЛЭ.

Предельные электрофизические характеристики полупроводниковых структур накладывают ограничения на совершенство границ раздела, минимизацию дефектов атомной структуры, пространственное распределение дефектов и примесных атомов. Развитие в институте полупроводниковых технологий эпитаксиального

роста, ионной имплантации, наноструктурирования совместно с комплексным диагностическим сопровождением обеспечивает прорывные возможности в области одноэлектроники, однофотоники, спинтроники и управления отдельными атомами.

Создание твердотельных наносистем базируется на понимании фундаментальных атомных и электронных процессов, как на поверхности и границах разделов, так и в объеме этих систем. Роль таких фундаментальных процессов как диффузионный массоперенос, генерация дефектов в объеме и на поверхности, структурное и композиционное упорядочение становится преобладающей. Предельным случаем систем с пониженной размерностью являются нульмерные системы, состоящие из массива атомных кластеров или островков нанометровых размеров в полупроводниковой матрице. Фундаментальные свойства носителей заряда и квантовый транспорт в наносистемах становятся зависящими не только от размерности, но и от реальной структуры материала, связанной с технологией изготовления. Для создания действующих макетов твердотельных приборов нового поколения в институте организован замкнутый цикл "изготовление – характеристика", который позволяет оперативно находить оптимальные технологические решения. Разрабатываемые подходы базируются на создании модельных квантовых систем с последующим экспериментальным анализом, численным моделированием и теоретическими расче-

matrix photodetectors for night vision devices and thermal imaging, of image converters, microwave transistors, single-electron transistors, single-photon sources and nanosensors are implemented on the basis of the obtained results.

ISP SB RAS is among the leaders in the development of molecular beam epitaxy (MBE), which is one of the key technologies of modern physics of semiconductors and semiconductor electronics. It is a process of layer by layer controlled epitaxial growth of different compounds at the level of one monolayer.

The advantages of MBE are based on establishing clear boundaries due to the low growth rate and sudden changes in flow, which are not available in other technologies. Taking into account the atomic purity of materials under ultra-high vacuum, better than the surrounding space, the engineering and the creation of a non-existent new materials with desired properties are possible. The institute actively develops and manufactures advanced equipment for molecular beam epitaxy.

The limiting electrophysical characteristics of semiconductor

structures impose restrictions on the perfection of interfaces, minimization of defects in the atomic structure, spatial distribution of defects and impurity atoms. Development at the institute of semiconductor technology of epitaxial growth, ion implantation, nanostructuring together with comprehensive diagnostic support provide breakthrough opportunities in the field of single electronics, single photonics, spintronics and manipulation of individual atoms.

Creation of solid-state nanosystems is based on the



тами оптических и электронных характеристик. Управление атомными и электронными процессами и поиск путей их реализации является главной проблемой на современном этапе эволюции твердотельных нанотехнологий.

Какие направления работы института приоритетны с точки зрения развития nanoиндустрии?

Приоритетным направлением для нас является развитие полупроводниковых нанотехнологий в междисциплинарных разработках. Актуальные достижения в области полупроводниковой нано-

индустрии связаны с физикой низкоразмерных структур и созданием технологий получения наноструктур с принципиально новыми функциональными возможностями для нано- и оптоэлектроники, средств связи, новых информационных технологий, измерительной техники и пр. Развитие МЛЭ открыло возможности конструирования методами зонной инженерии и инженерии волновых функций наноструктур с электронным спектром и свойствами, определяемыми квантово-механической природой элементарных возбуждений в твердом теле.

understanding of fundamental atomic and electronic processes on the surface, at interfaces and in the volume of these systems. The role of such fundamental processes like diffusive mass transfer, the generation of defects in the bulk and on the surface, structural and compositional adjustment becomes predominant. A extreme case of systems with reduced dimension are zero-dimensional systems consisting of an array of atomic clusters or islands of nanometer dimensions in the semiconductor matrix. Basic properties of charge carriers and

quantum transport in nanosystems become depends not only on dimension but also on the actual structure of the material, which is connected with manufacturing technology. To develop functioning models of solid state devices of the new generation the institute has organized a closed "production - characterization" cycle, which allows to quickly find the optimal technological solutions. The developed approaches are based on creation of model quantum systems with the subsequent experimental analysis, numerical simulations and

theoretical calculations of optical and electronic characteristics. Control of atomic and electronic processes and finding ways of their implementation are the main issue at the present stage of the evolution of solid-state nanotechnology.

Which areas are of priority from the point of view of the development of nanoindustry?

The priority for us is the development of semiconductor nanotechnologies in interdisciplinary researches. Current advances in semiconductor nanotechnology are related to the physics of



Использование квантовых эффектов в полупроводниковых системах пониженной размерности создает принципиальную основу для увеличения степени интеграции на несколько порядков, значительного повышения быстродействия и уменьшения потребляемой мощности полупроводниковых устройств нового поколения. Это обуславливает необходимость решения проблем, связанных с получением совершенных кристаллов, тонких пленок, многослойных гетеросистем и структур пониженной размерности. Актуальной задачей является анализ основных физических закономерностей роста и дефектообразования в таких системах с целью направленного управления этими процессами. Анализ таких закономерностей предполагает, прежде всего, знание процессов форми-

рования реальной структуры полупроводниковых систем.

К перспективным направлениям, безусловно, относится создание одноэлектроники и однофотоники. К примеру, в совместной работе с Институтом физики твердого тела Технического университета Берлина на основе полупроводниковых брэгговских микрорезонаторов и одиночных InAs квантовых точек, расположенных вблизи субмикронной оксидной токовой апертуры прибора, сконструирован полупроводниковый однофотонный излучатель. Отметим, что проектирование и изготовление таких структур осуществлялось полностью на технологической базе ИФП СО РАН, а измерения проводились в Берлине. В структурах зарегистрировано излучение одиночной квантовой точки, в спектре которой присутствует лишь одна линия, соответствующая рекомбинации экситона. Полученные результаты открывают перспективы применения таких систем в квантовом компьютере или квантовой криптографии уже в ближайшем будущем.

Достижения в разработке и изготовлении наноструктур различного назначения определяются уровнем развития нанотехнологий, которые позволяют с атомной точностью получать наноструктуры с необходимым химическим составом и конфигурацией, а также методов комплексной диагностики наноструктур, включая контроль в процессе изготовления (*in situ*) и управление на этой основе технологическими процессами. Применение МЛЭ для создания эпитаксиальных

low-dimensional structures and the creation of technologies for obtaining nanostructures with fundamentally new functionalities for nano- and optoelectronics, communications, new information technologies, measuring equipment and so on. The development of MBE has opened the possibility of designing using methods of band engineering and engineering of the wave functions of the nanostructures with electronic spectrum and the properties determined by the quantum mechanical nature of elementary excitations in a solid.

The use of quantum effects in semiconductor low-dimensional systems creates a fundamental basis for increasing the degree of integration by several orders of magnitude, significant increasing in speed and reducing power consumption of semiconductor devices in the electronics of the new generation. This leads to the need to address the problems associated with creation of perfect crystals, thin films, multilayered heterosystems and structures with reduced dimensions. The actual problem is the analysis of the main physical regularities of growth and

defect formation in such systems with the goal of directed management of these processes. Analysis of these objective laws requires, first of all, knowledge in the field of processes of formation of real structure of semiconductor systems.

Creation of single electronics and single photonics, certainly, belongs to the promising areas. For example, in collaboration with the Institute of Solid State Physics of the Technical University of Berlin, on the base of semiconductor Bragg microresonators and single InAs quantum dots located in close

структур на основе соединений "кадмий – ртуть – теллур" (КРТ) обеспечило возможность формирования фоточувствительных слоев при осаждении пленок заданного состава нанометровой толщины. Реализация варизонных структур с увеличенной шириной запрещенной зоны у границы раздела с подложкой и у свободной поверхности позволило резко уменьшить рассеяние носителей заряда у поверхностей и сформировать слои КРТ с рекордными значениями времени жизни носителей заряда. На основе полученных методом МЛЭ фоточувствительных слоев созданы большеформатные матрицы и линейки фотоприемных устройств ближнего и дальнего ИК-диапазона.

Как вы оцениваете состояние и перспективы развития профильных для института отраслей науки и промышленности в России?

Уровень научных исследований оценить и очень сложно, и довольно просто. Сложно, потому что наука является узкоспециализированной, а с другой стороны – для оценки можно использовать наукометрические показатели, уровень публикаций, цитирование и т.д. Наконец, есть экспертная оценка. Все это не даст абсолютной истины, но в каком-то приближении позволит сделать оценку. Считаю, что ИФП СО РАН проводит исследования на мировом уровне, а некоторые проекты задают этот уровень. Мы имеем тесные связи с гигантами электронной индустрии, как Intel и Samsung Electronics, которые являются нашими заказчиками! Это ли не оценка уровня

нашей работы? Помимо ИФП СО РАН, многие другие институты РАН успешно работают в области создания электронной компонентной базы. К сожалению, проблемой для научных институтов является отсутствие стабильного портфеля заказов от государства и профильных ведомств. Российские промышленные предприятия не имеют возможности вести самостоятельно или финансировать масштабные разработки.

Как реализуется связь института с промышленностью?

Наш принцип – сочетание фундаментальных исследований с прикладными, включая создание опытных образцов приборов и устройств, выпуск малых серий разрабатываемых изделий. У ИФП СО РАН сложились прочные научно-производственные связи с ведущими российскими предприятиями в области микро- и фотоэлектроники. В интересах промышленности проводятся научно-поисковые исследования и осуществляются поставки полупроводниковых материалов и готовых устройств.

Институт является разработчиком и поставщиком гетероструктур на основе материалов типа A^3B^5 для многих предприятий-производителей новых изделий СВЧ-техники, включая "Исток им. А.И.Шокина", "Октава", "Планета-Аргалл", НПП "Пульсар", НПФ "Микран", ЦКБА, НИИПП, РНИИРС. Совместно с предприятиями-партнерами разрабатывается метод МЛЭ для получения полупроводниковых гетероэпитаксиальных структур $AlGaIn/GaN$ для следующего поко-

proximity to submicron oxide current aperture of the device the semiconductor single photon source was designed. It should be noted that the design and manufacturing of such structures was carried out entirely on the technological basis of ISP SB RAS, and the measurements were carried out in Berlin. In the structures the radiation of single quantum dots was registered, which spectrum includes only one line corresponding to the recombination of an exciton in this quantum dot. The achieved results open the prospects of applying such systems

in a quantum computer or quantum cryptography in the near future.

Achievements in the development and production of nanostructures for various purposes are determined by the level of development of nanotechnologies, which allow with atomic precision to obtain nanostructures with the required chemical composition and configuration, as well as of methods for complex diagnostics of nanostructures, including process control (in situ) on this basis. The use of MBE to create epitaxial structures based

on "cadmium-mercury-tellurium" (CMT) compounds has provided the possibility of forming the photosensitive layers of this compound by the deposition of films of a given composition of nanometer thickness. The implementation of variband structures with increased gap width at the interface with the substrate and at the free surface has allowed to drastically reduce the scattering of charge carriers at surfaces and to obtain the CMT layers with record values of the lifetime of charge carriers. Based on the photosensitive layers obtained using MBE,



ления мощных СВЧ-транзисторов и монолитных интегральных схем СВЧ-электроники.

Разработана технология получения КНИ-пластин с пленками монокристаллического кремния толщиной до 1 нм (метод DeleCut), на основе которых созданы КНИ-полевые транзисторы микронного, субмикронного и нанометрового размеров, обладающие повышенной радиационной и температурной стойкостью. На основе структур "кремний на изоляторе" совместно с "НЗПП с ОКБ" и НПО "Восток" разработаны ряд нанотранзисторов с размерами активной области много меньшими 100 нм, радиационно-стойкие транзисторы и созданы сверхчувствительные нанопроволочные сенсоры с фемтомольной чувствительностью для биологов.

Также в институте созданы матричные фотоприемные модули размером 640×512 элементов для спектральных диапазонов 3–5 и 8–12 мкм на основе гетеронаноструктур МЛЭ КРТ и многослойных структур с квантовыми ямами. Ведутся работы и по созданию двухспектральных приемников излучения.

Мелкосерийные поставки эпитаксиальных структур A^2B^6 для промышленного производства электронных компонентов тепловизионной техники осуществляются на предприятия "НПО Орион", "Швабе-Фотосистемы", "Швабе-Технологическая лаборатория", "КМЗ им. С.А.Зверева", "ЭЛСИ", "ГИРООПТИКА" и др. Совместно с НПО "Восток" разработана

и изготовлена многопиксельная фоточувствительная матрица сложной архитектуры для космического базирования.

Каков вклад института в реализацию политики импортозамещения?

Институт активно участвует в программе импортозамещения, поставляя для предприятий электронной промышленности эпитаксиальные структуры для фотоэлектроники, подложки с двумерным электронным газом для СВЧ-электроники, пластины "кремний на изоляторе" для радиационно-стойкой электроники.

Мы разрабатываем промышленно-ориентированное оборудование для синтеза полупроводниковых гетероэпитаксиальных многослойных структур и импортозамещения в области аналитического и технологического приборостроения в рамках государственных программ. Приведу краткий перечень высокотехнологичных инновационных разработок в области научного приборостроения и ЭКБ: спектральный эллипсометрический комплекс "ЭЛЛИПС-БСЭК"; сверхвысоковакуумная установка "Катунь-100" и уникальная многокамерная промышленно-ориентированная установка МЛЭ соединений КРТ типа "Обь-М"; тензометрический зонд для измерения деформаций в горных породах; радиационно-стойкие КНИ КМОП ИС на нанотранзисторах для экстремальных условий эксплуатации; многофункциональная акустическая система мониторинга трубопроводов

the large-format matrix and the photodetectors strips of the near and far IR ranges are created.

How do you assess the state and prospects of development in Russia of those branches of science and industry, which are relevant to the institute?

It is both very difficult and quite simple to estimate the level of scientific research. It is difficult because science is highly specialized, and on the other hand, its level is easy to identify by scientometric indicators, the level of publications, citation etc. Finally, it is always possible

to use expert judgment. All this does not give the absolute truth, but with some approximation allows to make an assessment. I believe that ISP SB RAS conducts research on a global level, and some projects set this level. We have close relationship with giants of electronic industry like Intel and Samsung Electronics, which are our customers! Is this not the assessment of the level of our work? In addition to the ISP SB RAS, many other institutes of RAS have been successfully working in the field of creation of electronic components. Unfortunately, the problem for

academic institutions is the lack of a stable portfolio of orders from the government or relevant agencies. Russian industrial enterprises are not able to implement or finance large-scale developments.

How is the relationship between institute and industry implemented?

Our principle is the combination of basic researches with applied ones, creation of prototypes of devices, production of small series of developed products. ISP SB RAS has strong research and production communications



"ССВС" (НПФ "Тори"); малогабаритный Фурье-спектрометр "ИНФРАЛЮМ ФТ-801" (Льюмэкс-Сибирь); медицинский тепловизор с обработкой изображений.

Какие меры необходимы для улучшения поддержки российской фундаментальной и прикладной науки?

Научные организации способны разрабатывать и создавать высокотехнологические продукты, но не умеют коммерциализировать свои знания. Внедрение научных разработок в промышлен-

ное производство идет очень сложно. Обратите внимание, что разработку надо не передать, а "внедрить". Другими словами, необходимо преодолеть "сопротивление", которое возникает при передаче знаний. Требуется проработка административного, хозяйственного и финансового статуса институтов, который бы упростил организацию эффективного взаимодействия с пользователями разных форм собственности в рамках бюджетного, налогового и гражданского кодекса РФ. Надо создать "среду" для развития и передачи nanoиндустрии продуктов и технологий.

with the leading Russian enterprises in the field of micro- and photoelectronics. In the interests of the industry scientific researches and supplies of semiconductor materials and devices are conducted.

The Institute is a developer and supplier of heterostructures based on A^3B^5 materials for many manufacturers of new microwave products, including RPC "Istok" named after Shokin", Oktava, Planeta-Argall, Pulsar, Micran, CDVA, NIIPP, RNIIRS. Together with the industrial partners we develop a method of MBE to obtain semiconductor

heteroepitaxial structures of AlGaN/GaN for the next generation of high-power microwave transistors and monolithic integrated circuits of microwave electronics.

The method of production of SOI wafers with films of monocrystalline silicon with a thickness of up to 1 nm (DeleCut) is developed, based on which we created SOI-FETs of micron, sub-micron and nanometer sizes with high radiation and temperature resistance. Together with NZPP & OKB and Vostok NPP we have developed on the basis of SOI structures a number

of nanotransistors with active area a lot smaller than 100 nm, radiation-resistant transistors and have created ultrasensitive nanowire sensors with femtomole sensitivity for biologists.

Also institute have created a matrix photodetector module with a size of 640×512 elements for spectral ranges 3-5 and 8-12 μm based on MBE CMT hetero-nanostructures and on multilayer structures with quantum wells. Projects on creation of two-spectral radiation detectors are conducted.

Small batches of A^2B^6 epitaxial structures for industrial



Необходимо создать инфраструктурную сеть центров коллективного пользования технологическим оборудованием, которые смогли бы расширить доступ организаций и фирм разного уровня к технологиям. В рамках формирования национальной исследовательской и технологической инфраструктуры целесообразно предусмотреть развитие имеющейся федеральной сети ЦКП, осуществляющей комплекс метрологической, диагностической и технологической поддержки исследований и инноваций. При этом целесообразно учесть опыт Минобрнауки РФ, которое, понимая методическую сложность диагностики нанообъектов и высокую стоимость соответствующего аналитического оборудования, создало ЦКП с диагностическим оборудованием, являющиеся составными частями инфраструктуры нанотехнологической сети РФ.

ИФП СО РАН является базовой организацией ЦКП "Наноструктуры", который обеспечивает проведение исследований самыми современными методами, включая электронную микроскопию атомной структуры, морфологии и химического состава, контроль атомарных поверхностей, создание структур пониженной размерности для нанoeлектроники. ЦКП "Наноструктуры" входит в инфраструктуру центра метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции наноиндустрии в Сибирском федеральном округе, обеспечивая измерительные потребности предприятий нанотехнологической сети в регионе. Опыт работы ЦКП, поддержанных

Минобрнауки РФ, свидетельствует об их большом потенциале в обеспечении мультидисциплинарного, межведомственного подхода к решению задач развития современных технологий.

Важными представляются задачи государства по развитию исследовательской инфраструктуры: создание инжиниринговых центров, фабрик прототипирования, дизайн-центров, в том числе на базе национальных технопарков; импортозамещение в области аналитического и технологического приборостроения в рамках инновационных программ; развитие инфраструктуры поддержки совместных научных исследований и осуществление интеграционных и комплексных научных, инновационных и образовательных проектов; консолидация имеющейся научно-технической базы с целью более эффективного использования оборудования в интересах всех пользователей.

Расскажите, пожалуйста, об образовательной деятельности ИФП СО РАН.

Институт готовит кадры высшей квалификации – кандидатов и докторов наук в рамках аспирантуры, а также высококвалифицированных научных исследователей и инженерно-технических специалистов на кафедре физики полупроводников Новосибирского государственного университета, филиале кафедры полупроводниковых приборов и микроэлектроники Новосибирского государственного технического университета, филиале кафедры физики полупроводников Томского государственного университета, филиале кафедры технической

production of electronic components for thermal imaging are supplied to Orion NPO, Shvabe – photosystems, Shvabe – Tech Lab, Krasnogorsky Zavod (KMZ "ZENIT"), ELSY, Gyrooptics, etc. The multi-pixel photosensitive array of complex architectures for operation in space is developed and produced together with the Vostok NPO.

What is the contribution of the institute to the implementation of import substitution policy?

The institute actively participates in the program of import

substitution. We supply to the electronic industry epitaxial structures for photoelectronics, the substrate with two-dimensional electron gas for microwave electronics, SOI wafers for radiation-resistant electronics.

We are developing industrial-oriented equipment for the synthesis of semiconductor epitaxial multilayer structures and import substitution in the field of analytical and process instrumentation in the framework of the state programs. I will provide the short list of high-tech innovative developments in the field of scientific

instrumentation and electronic components: spectroscopic ellipsometric equipment ELLIPS-BSEC; ultrahigh vacuum system Katun-100 and the unique multi-camera industrial-oriented MBE system for CMT structures Ob-M; strain probe for rock deformation measurements; radiation-resistant SOI CMOS IC on the nanotransistors for extreme conditions; multi-functional system for pipeline monitoring (TORI, Ltd); compact Fourier transform spectrometer INFRALUM FT-801 (Lumex-Siberia), medical infrared imager with image processing.



физики Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М.Ф. Решетнева и кафедре вычислительных систем Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. За пять лет в ИФП СО РАН прошли обучение 113 аспирантов.

С целью комплектования научных центров научными и инженерно-техническими кадрами для проведения исследований и обслуживания оборудования необходима интеграция с вузами – создание новых востребованных научно-технических специальностей. Целесообразно формирование системы опережающей подготовки высококвалифицированного персонала с учетом современных тенденций, в том числе на базе ведущих научных школ и научно-образовательных центров.

В каких международных проектах принимает участие институт?

Мы активно развиваем международное сотрудничество, о чем свидетельствуют многочисленные совместные публикации, подготовленные в рамках выполнения научно-исследовательских работ, грантов, программ, партнерских соглашений. Международные связи осуществляются в форме: совместных научно-исследовательских работ с ведущими институтами, фирмами, университетами; участия сотрудников института в международных совещаниях, симпозиумах, конференциях; визитов зарубежных ученых и представителей фирм; участия в проектах и программах зарубежных фондов; проведения научно-технических мероприятий

What measures are needed to improve support of Russian fundamental and applied science?

Scientific organizations are able to develop and create high-tech products, but do not know how to commercialize their knowledge. The introduction of scientific developments in industrial production is very difficult. Please note that the development should be not transferred, but "implemented". In other words, it is necessary to overcome "resistance", which occurs during the transfer of knowledge. It is necessary to develop

administrative, economic and financial status of the institutions, which would simplify the organization of effective interaction with users of different forms of ownership within the budgetary, tax and civil codes of the Russian Federation. We must create environments for the development and transfer of nanotechnology products and technologies.

It is necessary to create an infrastructure network of centers for collective use of equipment, which could simplify the access of organizations and firms of different levels to the technologies.

Within the formation of national research and technological infrastructure, it is expedient to anticipate the development of the existing Federal network of centers for collective use, providing a complex metrological, diagnostic and technological support for research and innovation. It is helpful to consider the experience of the Ministry of education and science of the Russian Federation, which, understanding methodological complexity of diagnostics of nanoobjects and the high cost of appropriate analytical equipment, created the centers for collective

с приглашением зарубежных ученых. В текущем году институт участвовал в 58 международных мероприятиях и принял 64 зарубежных специалиста из 25 стран. Приведу только некоторые организации, с которыми налажено сотрудничество: Берлинский технический университет (Германия), Технический университет в городе Кемниц (Германия), Филиппс-университет в Марбурге (Германия), Университет Дортмунда (Германия), Регенсбургский университет (Германия), Институт физики университета Сан-Пауло (Бразилия), Технический университет Бари (Италия), Университет Авейро (Португалия), Национальный Чиао Тунг университет (Тайвань), Институт полупроводников АН Китая в Пекине, Институт Пауля Шерера в Вилигене (Швейцария), Эколь Политекник в Палезо (Франция), Лаборатория высоких магнитных полей ННЦИ в Гренобле (Франция), Институт физики Иерусалимского университета (Израиль), Открытый университет в Милтон Кейнс (Великобритания), Техасский центр по сверхпроводимости и перспективным материалам Университета Хьюстона (США).

Безусловно, необходимо дальнейшее развитие партнерских отношений с ведущими российскими и международными исследовательскими центрами, обеспечение международного признания полученных результатов исследований.

Каковы планы развития института?

Успехи института в будущем будут определяться уровнем развития технологий, которые позволят с атомной точностью получать наноструктуры необ-

ходимой конфигурации и в сочетании с расчетами квантового транспорта и новых явлений обеспечат создание твердотельных наносистем с новыми функциональными свойствами.

Мы рассматриваем возможность создания кремниевой мини-фабрики на основе разработок институтов СО РАН совместно с Silicon Valley Technology Center и B-Global Partners (США). В мире подобными фабриками прототипирования располагают, например, флагманы электроники: американский Intel и южнокорейский Samsung. В России же имеющееся оборудование ориентировано на конкретные технологии и практически недоступно для сторонних пользователей. Такой центр прототипирования может использоваться для разработки и производства малых серий принципиально новых продуктов на основе технологий кремниевой наноэлектроники: кремниевых лабораторий-в-корпусе (ЛВК) на базе нано-, био-, газовых и электромеханических сенсоров; элементов на эпитаксиальных структурах "кремний - германий", "кремний - кристаллы III-V", "кремний - алмаз" и структур с квантовыми точками для наноэлектроники ближайшего будущего, включая СВЧ-элементы для телекоммуникационных систем нового поколения, а также систем квантовой криптографии и квантовых вычислений; новых типов элементов терабитной памяти.

Самое ценное богатство института - это сотрудники! Их опыт и оптимизм помогают ИФП СО РАН уверенно смотреть в будущее.

Интервью: Дмитрий Гудилин

use of diagnostic equipment, which are an integral part of the infrastructure of the nanotechnology network of the Russian Federation.

ISP SB RAS is the base organization for CUC "Nanostructures", which provides studies with use of the most modern methods, including electron microscopy of the atomic structure, morphology and chemical composition, control of atomic surfaces, creation of structures of reduced dimension for nanoelectronics. The CUC "Nanostructures" is included in the infrastructure of the center for

metrological assurance and conformity assessment of nanotechnologies and products of nanotechnology in the Siberian Federal district, providing the needs in measurements of enterprises of nanotechnology network in the region. Experience of centers for collective use, supported by the Ministry of education and science of the Russian Federation testifies their great potential in providing a multidisciplinary, interagency approach to solving problems of development of modern technologies.

The following tasks of the state are important for the

development of research infrastructure: establishment of engineering centers, factories, prototyping, design centers, including on the basis of the national industrial parks; import substitution in the field of analytical and process instrumentation in the framework of innovative programs; development of infrastructure for support joint researches and implementation of integrated research, innovation and educational projects; consolidation of existing scientific and technical base for a more efficient use of equipment in the interests of all users.



Please tell us about the educational activities of ISP SB RAS.

The institute prepares specialists of higher qualification – candidates and doctors of sciences in the framework of the graduate school, as well as highly qualified researchers and engineers at the Department of Semiconductor Physics of Novosibirsk State University, Affiliated Semiconductor Devices and Microelectronics Department of Novosibirsk State Technical University, Affiliated Semiconductor Physics Department of Tomsk State University, Affiliated Technical Physics Department of M.V.Reshetnev Siberian State Aerospace University and the Department of Computing Systems of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics. For five years in ISP SB RAS 113 doctoral students have been trained.

For the purpose of staffing scientific centers of scientific and engineering personnel for research and equipment maintenance the integration with universities, including the creation of new relevant technical and scientific specialties is required. It is advisable to establish the system of advanced training of highly qualified personnel taking into account modern trends, including on the basis of leading scientific schools and scientific and educational centers.

In what international projects the institute participated?

We are actively developing international cooperation, as evidenced by numerous joint publications in the framework of research works, grants, programs, and partnership agreements. International communications are provided in the forms of joint research work with leading

research institutes, companies, universities; involvement of institute staff in international meetings, symposia, conferences; visits of foreign scientists and representatives of companies; participation in projects and programs of foreign funds; conducting technical and scientific events with invitation of foreign scientists. This year, the institute participated in 58 international events and received 64 foreign specialists from 25 countries.

I will present names of only some organizations with which the cooperation has been established: Technical University of Berlin (Germany), Chemnitz University of Technology (Germany), Philipp University of Marburg (Germany), Technical University of Dortmund (Germany), University of Regensburg (Germany), Institute of Physics of the University of São Paulo (Brazil), Polytechnic University of Bari (Italy), University of Aveiro (Portugal), National Chiao Tung University (Taiwan), Institute of Semiconductors, at Chinese Academy of Sciences in Beijing, Paul Scherrer Institute in Visigene (Switzerland), École Polytechnique in Palaiseau (France), European Magnetic Field Laboratory in Grenoble (France), Racah Institute of Physics at the Hebrew University of Jerusalem (Israel), Open University in Milton Keynes (UK), Texas Center for Superconductivity at University of Houston (USA).

Of course, further development of partnership with leading Russian and international research centres, providing international recognition of the results of research are necessary.

What are the development plans for the institute?

The success of the institute in the future will be determined by the level of technology that will allow with atomic precision to obtain nanostructures of desired configuration, and, in combination with calculations of quantum transport and new phenomena, will ensure the creation of solid-state nano-systems with new functional properties.

We are considering creation of a silicon mini-factory on the basis of developments of institutes of the SB RAS in cooperation with Silicon Valley Technology Center and B-Global Partners (USA). In a world such prototyping factories have, for example, the flagships of electronics, American Intel and South Korea's Samsung. The equipment, which is available in Russia, is focused on concrete technologies and is almost inaccessible for third-party users. Such prototyping centre can be used for the development and production of small series of innovative products based on the technologies of silicon nanoelectronics: silicon laboratories in case on the basis of nano-, bio-, gas and electromechanical sensors; elements based on epitaxial structures of "silicon – germanium", "silicon – III-V crystals", "silicon – diamond" and structures with quantum dots for nanoelectronics of the near future, including the microwave elements for telecommunication systems of new generation, as well as systems for quantum cryptography and quantum computing; new types of elements for terabytes memory.

The employees are most valuable wealth of the institute! Their experience and optimism help ISP SB RAS to look confidently to the future.

Interview by Dmitry Gudilin