



НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ЭКСПРЕСС-ПРОТО- ТИПИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ГИБКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И ФОТОНИКИ

П.Афанасьев, к.т.н., О.Бохов., к.т.н., В.Лучинин,
д.т.н./cmid_leti@mail.ru

Современные тенденции развития технологий превосходства (непредвиденных, прорывных, критических) характеризуются совокупностью наиболее часто ассоциируемых с ними понятий: междисциплинарные, конвергентные, бионические, когнитивные, атомно- и наноразмерные, квантово-информационные, спин-волновые. Цель настоящей работы – представление формируемого С.-Петербургским государственным электротехническим университетом (ЛЭТИ) и ЗАО "Межвузовский центр прототипирования и контрактного производства микро- и нанотехники" научно-технологического базиса для создания микро- и нанотехники, в основе которой лежат: гибкость и трехмерность подложек, гетерогенность или конвергентность используемых композиций и мультидисциплинарный органо-неорганический интерфейс.

Решающим фактором начала модернизации микро- и нанотехнологического комплекса, действующего на базе ЛЭТИ [1], является "Программа повышения конкурентоспособности вузов среди ведущих мировых научно-образовательных центров". (Постановление Правительства РФ от 16 марта 2013 г. № 211). ЛЭТИ вошел в элитную команду 15 вузов России, реализующих эту программу. В качестве приоритетов его деятельности определен ряд стратегических направлений: технологии превосходства и образование для новой генерации человеческого капитала, трансфер технологий и экономика знаний.

ТЕХНОЛОГИИ ПРЕВОСХОДСТВА И ОБРАЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕВОСХОДСТВА:

- Нано- и метаматериалы для квантовых, био- и когнитивных информационных технологий: квантово-размерные и конвергентные системы; самоорганизующиеся среды; фотонные кристаллы; спин-волновая электроника; биоэлектроника и сенсорика.
- Генерация, преобразование, рекуперация и трансляция электромагнитной энергии в широком спектральном диапазоне: широкополосные радиоэлектронные системы; терагерцевая и субнаносекундная электроника; канализование

SCIENTIFIC-TECHNOLOGICAL COMPLEX OF EXPRESS PROTO- TYPING OF PRODUCTS OF FLEXIBLE ELECTRONICS AND PHOTONICS

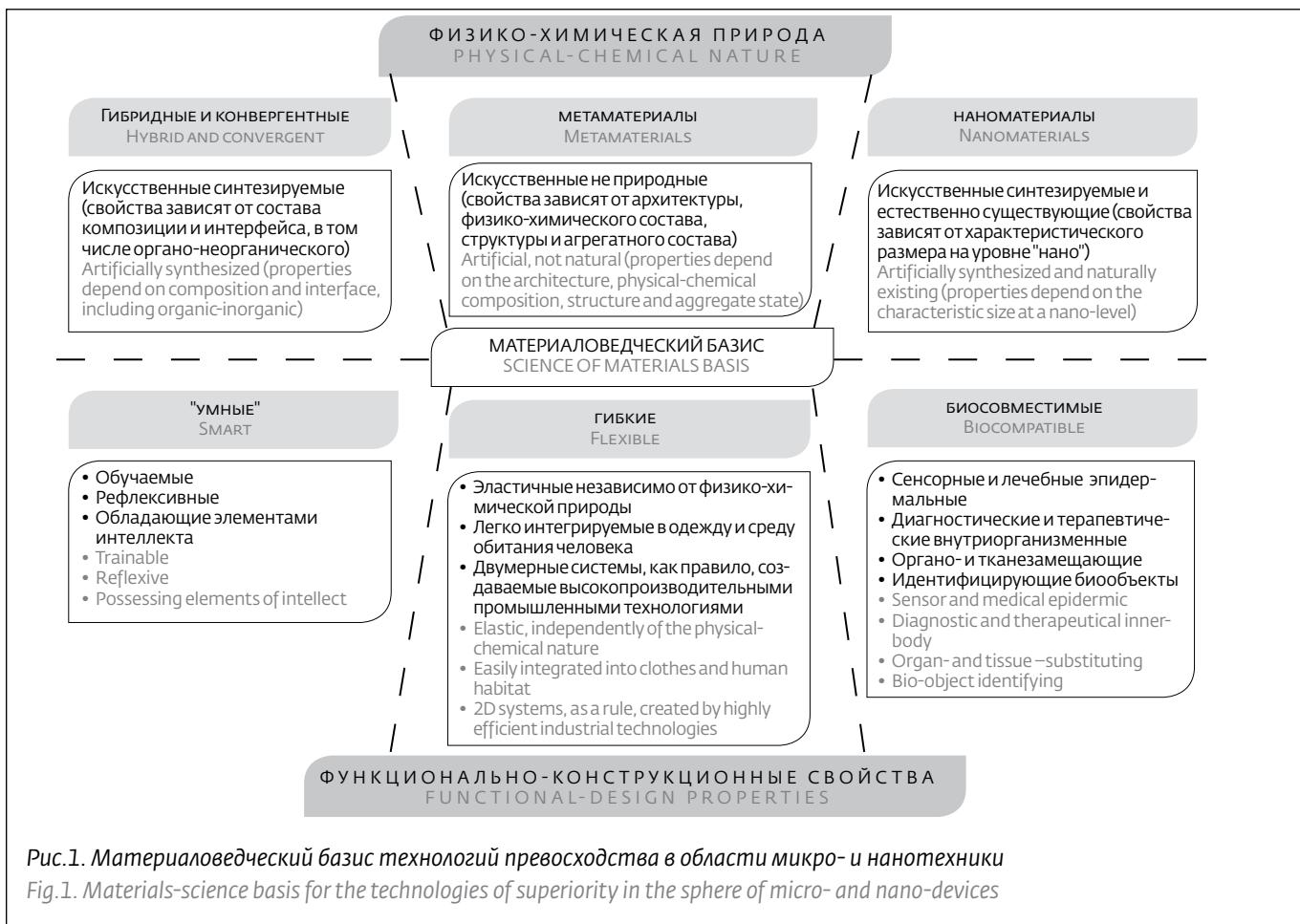
P.Afanasyev, Ph.D., O.Bokhov., Ph.D., V.Luchinin,
D.Sc./cmid_leti@mail.ru

Modern development trends of the technologies of superiority (unforeseen, breakthrough, critical) are characterized by a set of concepts most frequently associated with them: interdisciplinary, convergent, bionic, cognitive, atom- and nano-sized, quantum-information, spin-wave. The purpose of the given work is presentation of the scientific-technological basis for development of micro- and nano-technologies formed by the S.-Petersburg State Electrotechnical University (LETI) and Joint-Stock Company Interuniversity Center for Prototyping and Contract Manufacture of Micro- and Nano-technologies. The idea of it is based on flexibility and three-dimensionality of a substrate, heterogeneity or convergence of the employed compositions and a multidisciplinary organic-inorganic interface.

The decisive factor for launching modernization of the micro- and nano-technological complex operating on the basis of LETI [1] is the "Program for increasing the competitiveness of the higher schools among the leading world scientific-educational centers" (Order № 211 of the Government of the Russian Federation of March, 16th, 2013). LETI, one of the elite group of 15 best higher schools in Russia, has the following strategic priorities: technologies of the superiority and education for the new generation of the human capital, transfer of technologies and economy of knowledge.

TECHNOLOGIES OF SUPERIORITY AND EDUCATION TECHNOLOGIES OF SUPERIORITY:

- Nano- and metamaterials for the quantum, bio- and cognitive information technologies: quantum-dimensional and convergent systems; self-organizing environments; photon crystals; spin-wave electronics; bioelectronics and sensorics.
- Generation, transformation, recuperation and translation of the electromagnetic energy in a wide spectral range: broadband radio-electronic systems; THz- and subnanosecond electronics; channeling of the electromagnetic radiation in GHz range; recuperation of energy from the air.



- электромагнитного излучения в гигагерцевом диапазоне; рекуперация энергии из радиоэфира.
- Бионические робототехнические и биомедицинские системы для обеспечения жизнедеятельности человека и расширения его возможностей: искусственные органы, интеллектуальная одежда, лаборатории на чипе.

Анализ показал, что определяющим при реализации данных направлений является материаловедческий базис. Направления его эволюции применительно к научно-образовательным компетенциям, развиваемым ЛЭТИ, были определены в рамках обобщенной концепции (рис.1).

Эволюция физико-химической природы материалов, их структурной организации и функциональных свойств в конечном итоге определяет возможность формулировки совокупности требований, которые могут быть предъявлены к изделиям микро- и нанотехники (рис.2). Одна из важнейших тенденций ее развития – обеспечение дружественного эффективного "человеко-машинного" биотехнического интерфейса. В рамках современных представлений это определяется требованиями миниатюрности, надежности,

- Bionic robot-technological and biomedical systems for the life-support of people and expansion of human abilities: artificial organs, smart clothes, laboratories on chip.

An analysis has demonstrated that the decisive factor in realization of the above directions will be the basis of the science of materials. The trends in its evolution with reference to the scientific-educational competences developed by LETI were defined within the framework of the generalized concept of LETI (Fig.1).

Evolution of the physical and chemical nature of materials, their structural organization and, as a consequence, functional properties in the long run determines possibility of formulation of a set of demands, which can be made to the products of micro-and nanotechnologies (Fig.2). One of the major trends of its development is provision of a friendly effective "man-machine" biotechnical interface. Within the framework of modern notions this is determined by implementation of a set of requirements concerning diminutiveness, reliability, energy-efficiency and, certainly, integrability

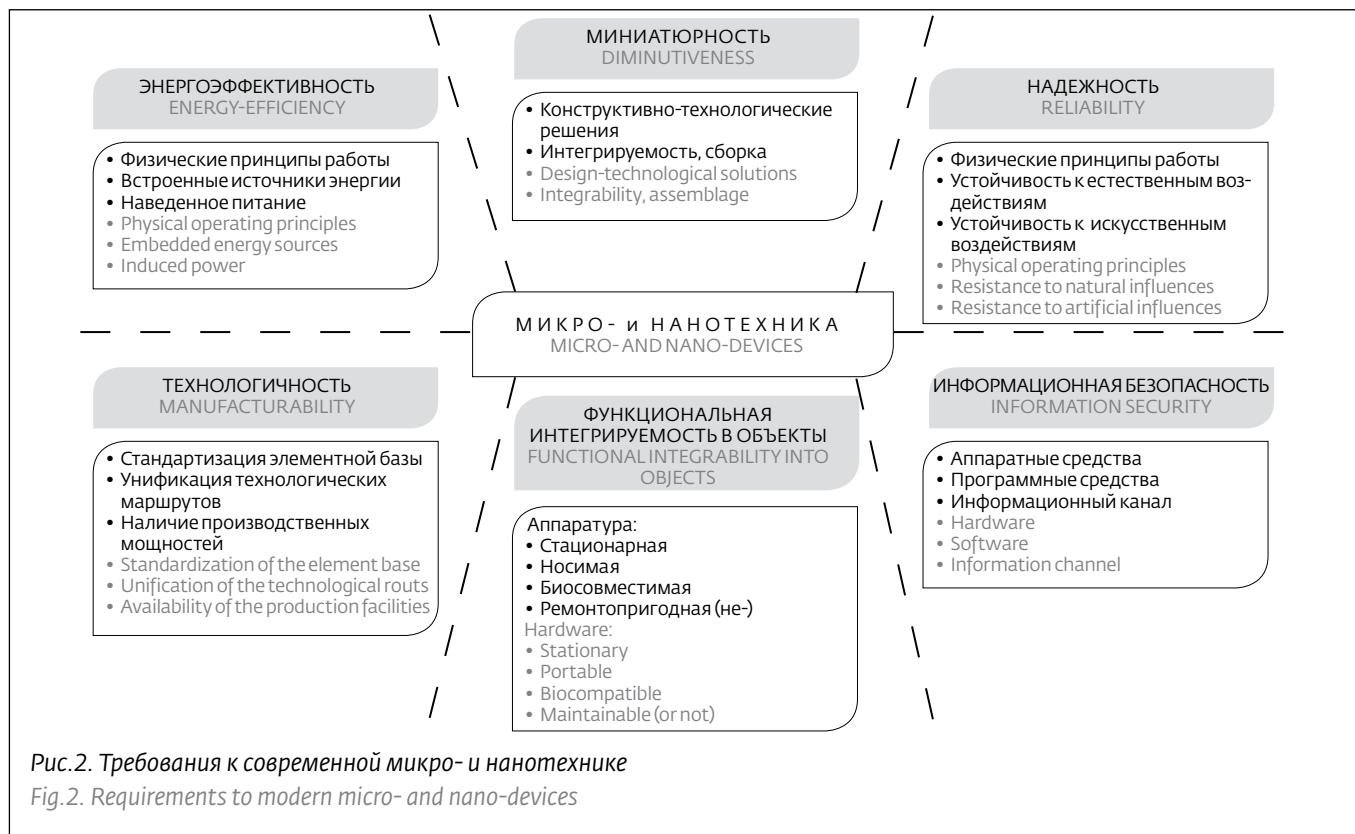


Рис.2. Требования к современной микро- и нанотехнике

Fig.2. Requirements to modern micro- and nano-devices

энергоэффективности и, безусловно, интегрируемости в рамках *in vivo* и *in vitro* биосовместимости.

Инициатива ЛЭТИ по модернизации научно-образовательного комплекса микро- и нанотехнологии для экспресс-прототипирования и производства микро- и нанотехники, имеет следующие основания:

– возможность эффективного использования результатов исследований и разработок, выполненных в НОЦ "Микротехнологии и диагностики" и НОЦ "Нанотехнологии" в рамках реализации совокупности проектов ФЦП по созданию изделий микросистемной техники и экстремальной электроники нового поколения с ранее недостижимыми параметрами;

– создание условий для формирования современной конструкторско-технологической платформы и внедрение новой культуры проектирования и изготовления электронной компонентной базы (ЭКБ) с достижением нового облика изделий, расширением их номенклатуры при минимизации временных и экономических затрат;

– развитие исследовательской базы и формирование кадрового потенциала с уровнем компетенций, соответствующим современной микро- и нанотехнологической культуре.

Фактически поставлена цель формирования и введения в эксплуатацию научно-технологического комплекса экспресс-прототипирования и производства нового поколения изделий микро- и нанотехники. Это достигается

within the framework of "in vivo" and "in vitro" biocompatibility.

The initiative of LETI concerning modernization of the scientific-educational complex of micro- and nanotechnologies for express prototyping and manufacture of micro- and nano-devices has the following foundations:

– Possibility of an effective utilization of the results of R&D done in Microtechnologies and Diagnostics Scientific-educational Center and Nanotechnologies Scientific-educational Center within the framework of realization of a set of projects of the Federal Task Program for development of microsystem technologies and extreme electronics of a new generation with earlier unattainable parameters;

– Provision of conditions for formation of a modern design-technological platform and introduction of a new culture of designing and manufacture of the electronic component base (ECB) with achievement of a new image of products, expansion of their nomenclature with minimal time and economic costs;

– Development of a research base and formation of a personnel potential with the level of competences corresponding to the modern micro- and nanotechnological culture.



организацией гибкой кластерной научно-производственной инфраструктуры, обеспечивающей динамичную реализацию на высокотехнологичной аппаратно-программной платформе совокупности технологических маршрутов изготовления широкой номенклатуры изделий, основа формирования которых:

- модульный принцип конструкторско-технологической реализации изделий;
- унификация и применение бескорпусной ЭКБ;
- использование многокристальных модулей, многослойных керамических, гибких и 3D-подложек;
- внедрение 3D- и межвидовой интеграции электронных, оптических и механических компонентов.

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ – ГИБКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ФОТОНИКА

Особое место в научно-технологическом комплексе, ориентированном на создание изделий микро- и нанотехники, обеспечивающих дружественный "человеко-машический" биотехнический интерфейс, занимают технологии гибкой электроники и фотоники. Термин "гибкая электроника", отражающий конструктивно-функциональные особенности размещения элементов, компонентов и систем коммутации, процессов сборки и упаковки, имеет ряд синонимов. Они детализируют составляющие данного направления: материаловедческий базис, включая подложку, некоторые функциональные материалы (органическая, полимерная электроника) и технологический базис как способ формирования элементов и систем коммутации (печатная электроника). Обобщая представления, относящиеся к гибкой электронике и фотонике, можно определить ее особенности:

- большие рабочие площади;
- "относительно" большие размеры элементов;
- невысокое латеральное разрешение (≈ 5 мкм);
- использование мультислоевых гетерогенных композиций;
- гибкость подложки;
- конформность и интегрируемость в объект;
- использование высокопроизводительных печатных технологий;
- относительная простота и низкая стоимость изделий.

К наиболее распространенным технологиям гибкой электроники и фотоники, которые требуют специальных компетенций при их адаптации в технологические маршруты, следует отнести технологии:

- печатно-матричные (рулонные, трафаретные) механические;
- капельно-струйные (принтерные) механические;
- лазерные принтерные, конверсионные (поверхностные) и стереолитографические (объемные) физико-химические;
- аэрозольные.

Actually a task was set of formation and introduction in operation of a scientific-technological complex of express-prototyping and manufacture of a new generation of micro- and nano-devices. This aim can be reached by establishment of a flexible cluster research-and-production infrastructure ensuring a dynamic realization on a hi-tech hardware-software platform of set of technological routes of manufacture of a wide range of products, the foundation of which consists of:

- Modular principle of design-technological realization of products;
- Unification and application of packageless ECB;
- Use of multicrystal modules, multilayered ceramic, flexible and 3D-substrates;
- Introduction of 3D- and interspecific integration of electronic, optical and mechanical components.

SCIENTIFIC-TECHNOLOGICAL PRIORITIES – FLEXIBLE ELECTRONICS AND PHOTONICS

Technologies of flexible electronics and photonics play a special role in development of the scientific-technological complex focused on creation of micro- and nano-devices, which ensure a friendly "man-machine" biotechnical interface. The term "flexible electronics", reflecting the design-functional features of placement of elements, components and switching systems, and also assemblage and packing processes, has a number of synonyms.

They specify two constituent parts of this direction: materials science basis, including the substrate, certain functional materials (organic and polymeric electronics) and technological basis as a method for formation of the functional elements and switching systems (printed electronics). By generalizing a set of notions related to the flexible electronics and photonics we can determine their specific features:

- Big work areas;
- Relatively big sizes of elements;
- Low lateral resolution (≈ 5 microns);
- Use of multilayered heterogeneous compositions;
- Flexibility of a substrate;
- Conformity and integrability into an object;
- Use of highly efficient printing technologies;
- Relative simplicity and low cost of products.

Among the most widespread technologies of flexible electronics and photonics, which demand certain special competences for their adaptation to the technological routes, are the following:

- Printing-matrix (rolled, stenciled) mechanical;
- Drop-jet (printer) mechanical;
- Laser printer, conversion (surface) and stereolithographic (volume) physical and chemical;
- Aerosol.



Особое место занимают текстильные технологии с использованием микро- и нановолокон с различными физико-химическими свойствами. В их число входят нановолокна медико-биологического назначения. Совокупность наиболее актуальных научно-технологических проблем в области гибкой электроники и фотоники может быть определена в рамках перечня:

- материалы для струйных и матрично-трафаретных печатных микротехнологий;
- гибкие, многослойевые гетерогенные и 3D-субстраты;
- струйные и зондовые печатные микро- и нанотехнологии;
- матрично-трафаретные и импринт - микро- и нанотехнологии;
- технологии 3D-, микро- и наноформообразования;
- 2D- и 3D- микросборки;
- оборудование, программные средства и технологические маршруты для производства изделий гибкой электроники и фотоники.

Приоритетным направлением развития научно-технологического комплекса определено экспресс-прототипирование и мелкосерийное производство изделий гибкой электроники и фотоники. Таким образом, основные задачи, решаемые в ЛЭТИ в рамках его формирования и освоения:

- внедрение технологий сквозного проектирования изделий, обеспечивающих эффективное конструкторско-технологическое масштабирование классических макропрототипов для перехода к изготовлению микро- и нанотехники с ранее недостижимыми параметрами;
- формирование и освоение современной технологической базы синтеза изделий микро- и нанотехники с преимущественной ориентацией на отечественную бескорпусную элементную базу, 3D-интеграцию элементов и использование гибких бесшаблонных принтерных и печатно-матричных технологий;
- освоение технологических маршрутов на основе конформной инфраструктурной модульной организации технологической линии при высокой степени автоматизации процессов, обеспечивающих динамичность перестройки и быстроту адаптации операций;
- экспресс-прототипирование и организация производства широкой номенклатуры изделий микро- и нанотехники нового поколения с ранее недостижимыми характеристиками при минимизации временных и экономических затрат на реализацию изделий в условиях возрастания роли интеллектуальной составляющей человеческого фактора на этапе подготовки производства.

Разворачивание научно-технологического комплекса гибкой электроники и фотоники на базе ЛЭТИ позволит достичь ряд конкурентных преимуществ изделий микро- и нанотехники. Такие изделия, создаваемые на

A special place is occupied by the textile technologies with the use of micro- and nano-fibers with various physical and chemical properties. Among them are nano-fibers for medical and biological purposes.

A set of the most topical scientific-technological problems in the field of flexible electronics and photonics can be determined within the framework of the following list:

- Materials for the jet and matrix-stencil printing microtechnologies;
- Flexible, multilayered heterogeneous and 3D-substrates;
- Jet and probe printing micro- and nanotechnologies;
- Matrix-stencil and imprint - micro- and nanotechnologies;
- Technologies of 3D- and micro- and nanoformformation;
- 2D- and 3D-microassemblages;
- Equipment, software and technological routes for manufacture of products of flexible electronics and photonics.

Express prototyping and small-scale manufacture of products of flexible electronics and photonics was determined as the priority direction in development of the scientific-technological complex. Thus, the main tasks to be solved by LETI within the framework of its formation and development are the following:

-Introduction of modern technologies of through designing of the products, which ensure an effective design-technological scaling of the classical macroprototypes for transition to manufacture of micro- and nano-devices with previously unattainable parameters;

-Formation and development of a modern technological base for synthesis of micro- and nano-devices with a primary orientation on the domestic packageless element base, 3D-integration of elements and use of flexible no-stencil printer and printing-matrix technologies;

-Mastering of the technological routes on the basis of a conformal infrastructural modular organization of a technological line with high degree of automation of the processes, which ensure a dynamic reorganization and quick adaptation of operations;

-Express prototyping and organization of manufacture of a rather wide range of micro- and nano-devices of a new generation with earlier unattainable characteristics with minimal time and economic costs on realization of the products in the conditions of an increasing role of the intellectual



новой технологической платформе, будут иметь научность и новизну, междисциплинарность и широкую номенклатуру с высокой степенью интеллектуально добавленной стоимости.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИЗДЕЛИЙ МИКРО- И НАНОТЕХНИКИ ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ КОМПЛЕКСА

- Бионические микроробототехнические комплексы, включая миниатюрные навигационно-ориентационные системы для автономной навигации и позиционирования.
- Интеллектуальная высокointегрированная мультифункциональная одежда, в том числе с эпидермальной распределенной сенсорно-информационной системой.
- Микроаналитические системы типа "лаборатория на чипе" для высокочувствительного биомедицинского контроля и мониторинга биотехносферы.
- Сверхминиатюрные инфокоммуникационные модули, в том числе интегрированные с сенсорными и исполнительными микросистемами для обеспечения сбора и передачи информации, идентификации личности и объектов.
- Миниатюрные, в том числе распределенные и гибкие источники энергии, включая рекуператоры из эфира и окружающей среды.

В качестве базовых тенденций оптимизации технических характеристик изделий нового поколения определены:

- снижение массогабаритных параметров и их энергопотребления;
- увеличение времени автономного функционирования;
- повышение стойкости к внешним воздействиям;
- вариабельность конструктивного исполнения для оперативной адаптации изделия в минимальные сроки при изготовлении и использовании.

Формирование состава оборудования (рис.3) научно-технологического комплекса экспресс-прототипирования и производства нового поколения микро- и нанотехники осуществлялось в соответствии с поставленными задачами, оптимальным набором технологических операций и контрольно-диагностических процедур. Эти процедуры обеспечивали постановку технологических маршрутов изготовления изделий, отличающихся новым конструктивно-технологическим обликом и ранее недостижимыми характеристиками, мобильность в производстве, вариабельность и адаптивность при использовании изделий.

При формировании требований к научно-технологическому комплексу учтен ряд конструктивно-технологических особенностей и возможностей. Они

компонент of the human factor at the stage of preparation of production.

Establishment of a scientific-technological complex of flexible electronics and photonics on the basis of LETI will allow us to reach a number of competitive advantages for the micro- and nano-products. Such products developed on a new technological platform will be science-intensive, have novelty and interdisciplinary character and a wide nomenclature with a high degree of intellectual value-added cost.

MAIN DIRECTIONS FOR REALIZATION OF MICRO- AND NANODEVICES OF A NEW GENERATION DURING DEVELOPMENT OF THE COMPLEX

- Bionic microrobot-technical complexes, including tiny navigation-orientation systems for independent navigation and positioning.
- Smart highly integrated multifunctional clothes, including clothes with epidermal distributed sensor-information system.
- Microanalytical systems of "laboratory on chip" type for a high-sensitivity biomedical control and biotechnosphere monitoring.
- Subminiature info-communication modules, including ones integrated with the sensor and effector microsystems for gathering and transfer of information, and identification of persons and objects.
- Tiny including distributed and flexible energy sources, among them recuperators from the ether and environment.

The following trends were determined as the basic ones for optimization of the technical characteristics of the products of a new generation:

- Decrease of the mass-dimensional parameters and energy consumption;
- Prolongation of time of an independent functioning;
- Higher resistance to the external influences;
- Variability of designs for an efficient adaptation of a product in a minimal period of time during production and exploitation.

Formation of the composition of the equipment (Fig.3) of the scientific-technological complex of express prototyping and manufacture of a new generation of micro- and nano-devices was carried out in accordance with the previously set tasks, optimal set of technological operations and control-diagnostic procedures. These procedures ensured establishment of the technological routes for manufacture of the products, distinguished by their new design and technological image, and earlier unattainable



определяются прогрессивными тенденциями в изготовлении изделий микро- и нанотехники.

Использование многокристальных модулей в рамках направления "системы в корпусе", включая:

- стековую интеграцию на основе технологии "кристалл на плате";
- 3D-интеграцию на основе многослойных LTCC подложек (Low Temperature Co-fired Ceramics), технологии "вертикального стека полупроводниковых чипов и пластин" и "чип на полупроводниковой подложке".

Сборочные технологии:

- поверхностного монтажа;
- обратного монтажа кристаллов (Flip-Chip) на основе шариковых (столбиковых) выводов;
- эвтектической или адгезивной посадки.

Различные виды нетрадиционных подложек:

- гибко-жесткие печатные микроплаты;
- гибкие полимерные и металлические;
- жесткие и гибкие керамические на основе широкозонных материалов с высокой теплопроводностью и низкими потерями на СВЧ;
- 3D-объемные полимерные и металлические, в том числе создаваемые высокоразрешающими лазерной принтерной и стереолитографической технологиями;
- 3D-объемные полимерные металлонаполненные, поверхностно модифицируемые лазерным пучком.

characteristics, mobility in manufacture, variability and adaptability in the use of the products.

In the process of formation of the requirements to the scientific-technological complex the following design-technological features and possibilities were taken into account, determined by the progressive trends in manufacture of micro- and nano-devices:

Use of multicrostal modules within the framework of the system in package (SIP) direction, including:

- Stack integration on the basis of "crystal on board" technology;

- 3D-integration on the basis of multilayered LTCC substrates (LTCC - Low Temperature Co-fired Ceramics), technology of "a vertical stack of semiconductor chips and plates", technology of "chip on interconnect semi-conductor substrate".

Assembly technologies:

- Surface Mounted Technology (STM);
- Return installation of crystals (Flip-Chip) on the basis of chip bumps;
- Eutectic or adhesive fit.

Various kinds of nonconventional substrates:

- Flexible-rigid printing microboards;
- Flexible polymeric and metal substrates;
- Rigid and flexible ceramic substrates on the basis of wide-band materials with high heat conductivity and low microwave losses;

- 3D-volume polymeric and metal substrates, including presently developed high-resolution laser printer and stereolithographic technologies;

- 3D-volume polymeric metal-filled substrates surface-modified by a laser beam.

Complex of technological operations for formation of the switching, insulating and functionally active layers of materials, including by local methods, incorporating the drop-jet, printing-matrix, laser ion-plasma, vacuum, gas (CVD), electrochemical (galvanoplasty), and electroerosion technologies;

Complex of technological operations on hermetic sealing, thermal and electromagnetic protection, including:

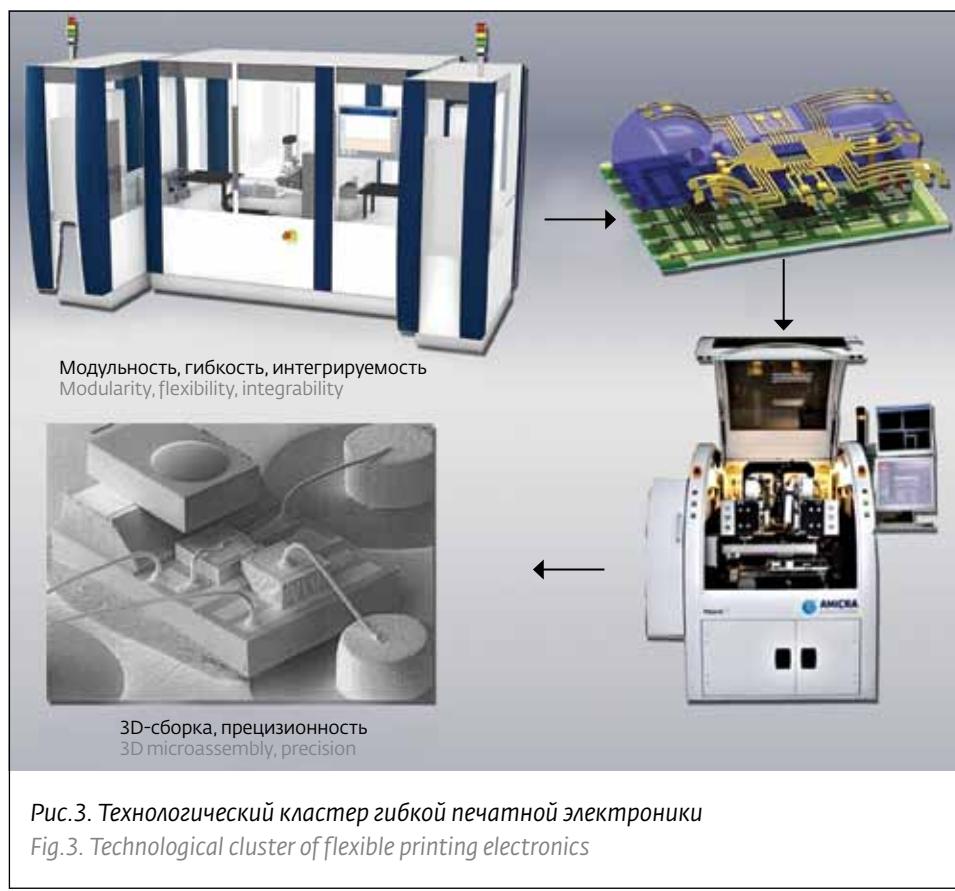


Рис.3. Технологический кластер гибкой печатной электроники
Fig.3. Technological cluster of flexible printing electronics



Комплекс технологических операций формирования коммутирующих, изолирующих и функционально активных слоев материалов, в том числе локальными методами, включает капельно-струйные, печатно-матричные, лазерные ионно-плазменные, вакуумные, газовые (CVD), электрохимические (гальванопластика), электроэррозионные технологии.

Комплекс операций по герметизации, тепловой и электромагнитной защите включает:

- вакуумную герметизацию;
- спрей-технологии;
- ламинацию;
- ионно-плазменное осаждение;
- осаждение из газовой фазы;
- заливку и погружение в жидкую фазу.

Для обеспечения автоматизации процесса конструкторско-технологической разработки предполагается использовать имеющийся комплект САПР. Этот комплект включает: CoventorWare; SolidWorks; MentorGraphics; Cadence; TannerTools; T-CAD Synopsys; PhoeniX; AutoCAD; AltiumDesigner.

"УМНАЯ" ОДЕЖДА – СОВРЕМЕННЫЙ БИОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

Исходя из особенностей гибкой электроники и фотоники в качестве одного из приоритетных направлений реализации ее инновационного потенциала и высокой экономической эффективности технологий, следует выделить "умную" одежду. Развитие данного направления обеспечивает решение следующих задач:

- интеграцию в одежду совокупности сенсорно-информационных миниатюрных систем для обеспечения жизнедеятельности человека и повышения уровня его коммуникабельности;
- реализацию концепции "человеко-машинного" биомедицинского интерфейса нового поколения, обеспечивающего внедрение принципов персональной оперативной телемедицины;
- реализацию персональных миниатюрных носимых медицинских систем - аналогов "лабораторий на чипе" или биосовместимых материалов, сочетающих контрольно-диагностические и исполнительно-терапевтические функции, включая оперативный контроль и поддержание параметров внутренней среды организма;
- использование материалов и конструктивно-технологических решений, расширяющих функциональные возможности человека в экстремальных условиях.

В рамках этого направления реализуется три поколения изделий:

- I поколение основано на использовании карманов для размещения носимой электроники, объединенных

- Vacuum hermetic sealing;
- Spray technologies;
- Lamination;
- Ion-plasma deposition;
- Deposition from a gas phase;
- Pouring and immersing in a liquid phase.

In order to ensure automation of the process of the design-technological development the available complete set of CAD is to be used. This complete set includes: CoventorWare; SolidWorks; MentorGraphics; Cadence; TannerTools; T-CAD Synopsys; PhoeniX; AutoCAD; AltiumDesigner.

"SMART" CLOTHES – A MODERN BIOTECHNICAL INTERFACE

Proceeding from the specific features of the flexible electronics and photonics, "smart" clothes should be singled out as one of the priority directions in realization of the innovative potential and high economic efficiency of the technologies. Development of the given direction will provide solutions to the following problems:

- Integration into clothes of a set of tiny sensor-information life-support systems, which also increase the level of a person's sociability;
- Realization of the concept of "man-machine" biomedical interface of a new generation ensuring introduction of the principles of a personal operative telemedicine;
- Realization of personal tiny portable medical systems - analogues of "laboratories on chip" or biocompatible materials combining the control-diagnostic and actuating- therapeutic functions, including an operative control and support of the parameters of the internal environment of an organism;
- Use of the materials and design-technological solutions, which expand human potential in extreme conditions.

Within the framework of this direction three generations of products are realized:

- The first generation is based on the use of pockets for portable electronics connected by a set of switching conductors embedded in the clothes;
- The second generation or the so called e-textile is a woven material with embedded antennas, sensors and power sources, while a woven material with conducting threads is used to ensure connections between them.
- The third generation realizes the concept of "systems on textile" with integration of the functional materials and subminiature modules within the framework of a smart interface between



совокупностью вшитых в одежду коммутирующих проводников;

- II поколение, или так называемый "e-textile", представляет собой тканый материал со "вшитыми" антеннами, датчиками, источниками питания, для соединений между которыми используется тканый материал с проводящими нитями;

- III поколение реализует концепцию "systems on textile" с интеграцией функциональных материалов и сверхминиатюрных модулей в рамках интеллектуального интерфейса между телом и одеждой, включая возможность использования эпидермальных датчиков и преобразователей.

Функциональные возможности материалов и композиций для изготовления "умной" одежды с использованием технологий гибкой электроники и фотоники, могут быть определены, как:

- химически-, тепло- и радиационно стойкие;
- механопоглощающие;
- опто-, ИК- и СВЧ-маскирующие;
- тепловыделяющие, теплопоглощающие и теплогенерирующие;
- механически рекуперирующие и усиливающие;
- опто- и СВЧ-рекуперирующие;
- опто- и СВЧ-излучающие;
- оптически и радиоидентифицирующие;
- тактильно-чувствительные;
- биосенсорные.

Особый интерес проявляется к созданию сверхтонких микро- и нанокомпозиционных "перманентных" покрытий (опто- и СВЧ-хамелеонов); квантовых точек как базовых элементов средств идентификации и распознавания. К ним относятся волокна, выделяющие бактерицидные и противовоспалительные средства, распределенные источники и рекуператоры энергии.

Наряду с традиционными текстильными технологиями имеет место развитие направления, характеризующегося понятием "информационный текстиль", в котором используются:

- кодирование переплетением;
- сочетание интегрального и локального кодирования рисунков;
- скрытые многослойные 3D-изображения;
- скрытые рельефные 2D-изображения;
- скрытые гетерогенные изображения, в том числе на основе перманентных свойств волокон.

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ КОНВЕРГЕНТНЫЕ БИОТЕХНИЧЕСКИЕ МИКРОСИСТЕМЫ-БИОРОБОТЫ

Пример реализации биотехнической системы (bioboat) с использованием технологий гибкой электроники - выполняемая ЛЭТИ по проекту

a body and clothes, including possibility of employment of epidermal sensors and converters.

The functional capabilities of the materials and compositions for manufacture of "smart" clothes with the use of technologies of flexible electronics and photonics, can be defined in the following way:

- Chemical-, thermal - and radiation resistant;
- Mechanical-absorbing;
- Opto-, IR- and microwave-masking;
- Heat dissipating, heat-absorbing and heat-generating;
- Mechanically recuperating and strengthening;
- Opto- and microwave-recuperating;
- Opto- and microwave-radiating;
- Optical and radio identifying;
- Tactile-sensitive;
- Biosensing.

Special interest is expressed to development of superthin micro- and nanocomposite "permanent" coatings (opto- and microwave chameleons); quantum points as the base elements of the means for identification and recognition; the fibers emitting bactericidal and anti-inflammatory substances; distributed sources and recuperators of energy.

Alongside with the traditional textile technologies there are also directions characterized by the notion of "information textile", which use:

- Coding by interlacing;
- Combination of integrated and local coding of drawings;
- Hidden multilayered 3D-images;
- Hidden relief 2D-images;
- Hidden heterogeneous images, including on the basis of the permanent properties of fibers.

INTEGRATED CONVERGENT BIOTECHNICAL MICROSYSTEMS-BIOROBOTS

An example of realization of a biotechnical system (bioboat) with the use of technologies of flexible electronics is the work carried out by LETI under the project 12-08-12029-ofi_m of RFFI concerning development of a subminiature remotely-operated convergent biotechnical system - biorobot based on integration of the motor functions of insects and artificial sensor-information microsystems.

The project is aimed to create a base architecture of a tiny biotechnical complex on the basis of a remotely-operated insect, and to determine and optimize the functional structure, proceeding from the achievement of possible mass-dimensional, power and information indicators. A distinctive feature of the project is a search for a possible application of a design-technological integration of the artificial

12-08-12029-офи_м РФФИ разработка сверхминиатюрной дистанционно-управляемой конвергентной биотехнической системы-биоробота на основе интеграции моторики насекомых и искусственных сенсорно-информационных микросистем. Проект направлен на создание базовой архитектуры миниатюрного биотехнического комплекса на основе дистанционно управляемого насекомого, определение и оптимизацию функционального состава, исходя из достижения возможных массогабаритных, энергетических и информационных показателей. Отличительная особенность проекта – поиск возможности применения при решении задач конструктивно-технологической интеграции искусственных и естественных систем, использование в качестве базовых элементов гибких и нородных субстратов или природных конструктивно-функциональных элементов тела насекомого, на которых размещаются электронные чипы (рис.4).

В целом, в рамках создаваемого в ЛЭТИ научно-технологического комплекса экспресс-прототипирования и производства изделий гибкой

электроники и фотоники решаются задачи:

- Внедрение технологий проектирования изделий микро- и нанотехники, обеспечивающих эффективное масштабирование макропрототипов, межвидовую интеграцию компонентов, использование бесшаблонного экспресс-синтеза 2D- и 3D-сверхминиатюрных гибридных систем.
- Формирование и реализация совокупности унифицированных технологических маршрутов создания таких изделий на основе модульного принципа конструирования миниатюрных гибридных систем с широким использованием межвидовой интеграции электронных, оптических и механических компонентов.
- Создание изделий микро- и нанотехники на основе интеграции процессов формирования базовых элементов с одновременной сборкой изделий при использовании сверхпрецзионных систем позиционирования и ориентации.
- Реализация технологии с использованием кремниевой подложки как активного базиса бескорпусных электронных и оптических компонентов.



Рис.4. Дистанционно управляемые гибридные биороботы на основе интеграции моторики насекомых и искусственных сенсорно-информационных микросистем

Fig.4. Remotely operated hybrid biorobots on the basis of integration of a motor function of insects and artificial sensor-information microsystems

and natural systems for solving of the tasks and use as base elements of the flexible alien substrates or natural design-functional elements of an insect's body, on which electronic chips are fixed (Fig.4).

As a whole the following tasks are solved within the framework of the scientific-technological complex of express prototyping and manufacture of products of flexible electronics and photonics established in LETI:

- Introduction of modern technologies for designing of micro- and nanoproducts, ensuring an effective scaling of the macroprototypes, interspecific integration of components, use of no-stencil express-synthesis of 2D- and 3D- supertiny hybrid systems.
- Formation and realization of a set of unified technological routes for development of such products on the basis of a modular principle of designing of tiny hybrid systems with a wide use of interspecific integration of electronic, optical and mechanical components.
- Development of micro- and nanoproducts on the basis of integration of a set of processes



- Создание многослойных коммутационных систем с ориентацией на оптические каналы передачи информации.

Решение вышеуказанных задач позволит обеспечить:

- экспресс-проектирование изделий на основе эффективного масштабирования макропрототипов;
- унификацию технологических маршрутов на основе модульного принципа конструирования изделий;
- создание миниатюрных гибридных систем на основе межвидовой интеграции электронных, оптических и механических компонентов;
- реализацию "бесшаблонного" синтеза изделий с использованием 2D- и 3D- интеграции;
- использование кремниевых подложек как активного базиса для бескорпусных компонентов;
- внедрение многослойных коммутационных систем с оптическими каналами преобразования и передачи информации.

Для формирования в России профессиональных компетенций и обмена опытом в области быстро прогрессирующего направления "Гибкая электроника и фотоника" ЛЭТИ с 12 по 15 ноября 2013 года проводит на своей базе научно-техническую конференцию с международным участием и молодежную школу по данной тематике (информационное сообщение на обложке журнала). Функцию одного из основных организаторов выполняет созданный с участием ЛЭТИ в соответствии с ФЗ 217 Межвузовский центр прототипирования и контрактного производства микро- и нанотехники [2], который специализируется в данной области и получил от ряда зарубежных фирм-поставщиков оборудования для гибкой электроники и фотоники (информация на обложке журнала) право представлять их интересы в России.

Работа выполнена в рамках стратегической Программы СПбГЭТУ-ЛЭТИ "Развитие междисциплинарных исследований и инструментально-технологической базы как основы непрерывного инженерного образования по приоритетным направлениям российской экономики" на 2012-2016 годы и проекта РФФИ 12-08-12029-офи_м (2013-2014 годы.) "Разработка сверхминиатюрного дистанционно управляемого гибридного биоробота на основе интеграции моторики насекомых и искусственных сенсорно-информационных микросистем".

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутузов В., Лучинин В. Реализация инновационного потенциала вуза. Нанотехнологическая платформа ЛЭТИ. – Наноиндустрия, 2012, №7 (37), с.34-39.
2. Афанасьев П., Бохов О., Кутузов В., Лучинин В., Шестopalов М. Реализация инновационного потенциала вуза. Центр прототипирования и контрактного производства микро- и нанотехники. – Наноиндустрия, 2012, №6 (36), с.52-60.

of formation of the base elements with a simultaneous assemblage of products and with the use of superprecision systems of positioning and orientation.

- Realization of the technology with the use of a silicon substrate as an active substrate-basis for packageless electronic and optical components.
- Development of multilayered switching systems with orientation on the optical channels of information transfer.

Solution of the above-stated tasks will allow us to ensure:

- Express designing of products on the basis of effective scaling of the macroprototypes;
- Unification of the technological routes on the basis of a modular principle of designing of products;
- Development of tiny hybrid systems on the basis of an interspecific integration of the electronic, optical and mechanical components;
- Realization of a no-stencil synthesis of products with the use of 2D- and 3D- integration;
- Use of silicon substrates as an active interconnect substrate -basis for the packageless components;
- Introduction of multilayered switching systems with optical channels for transformation and transfer of information.

In order to promote formation of professional competences and exchange of experience in the area of quickly progressing direction "Flexible Electronics and Photonics" in Russia, LETI will organize on its base from November, 12th, till November, 15th, 2013, a scientific and technical conference with an international participation and a youth school on the given subject (see information on the magazine cover).

One of the major organizers is the Interuniversity Center for Prototyping and Contract Manufacture of Micro- and Nanoproducts [2], which was established with participation of LETI in accordance with ФЗ 217, and which specializes in the given area and is authorized by a number of foreign firms-suppliers of the equipment for flexible electronics and photonics (see information on the magazine cover) to represent their interests in Russia.

The work was done within the framework of the strategic Program SPbGETU-LETI "Development of interdisciplinary researches and instrumental-technological foundation as the basis for a continuous engineering education in the priority directions of the Russian economy" for the period of 2012-2016 and RFFI project 12-08-12029-офи_м (2013-2014) "Development of a subminiature remotely-operated hybrid biorobot on the basis of integration of the motor functions of insects and artificial sensor-information microsystems".