



## СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА ГИБКОЙ ПЕЧАТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

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

**Особое место среди инновационных радиоэлектронных технологий занимают решения в области гибкой печатной электроники и фотоники. Современной высокотехнологичной аппаратно-программной платформой для экспресс-прототипирования и производства изделий микротехники нового поколения является кластер гибкой печатной электроники.**

Технологические маршруты современного радиоэлектронного производства организуются по принципам модульности конструкторско-технологической реализации изделий, унификации и применения бескорпусной электронной компонентной базы, использования многокристальных модулей, гибких и 3D-субстратовых подложек, а также внедрения 3D-интеграции и межвидовой интеграции электронных, оптических и механических компонентов.

Как отмечалось ранее [1], термин "гибкая электроника" (полимерная, печатная) отражает две основные составляющие данного направления. Во-первых, материаловедческий базис – конструктивно-материаловедческие особенности подложек, систем коммутации-изоляции и функциональных элементов. Во-вторых, технологический базис – комплекс способов формирования функциональных элементов и систем коммутации-изоляции, основанных на печатных рулонных трафаретных и (или) капельно-струйных технологиях.

### ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА ГИБКОЙ ПЕЧАТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Для формирования высокотехнологичной аппаратно-программной платформы производства изделий микро- и нанотехники на основе технологий гибкой электроники и фотоники необходимо решить следующие задачи [1]:

- внедрить современные технологии сквозного проектирования изделий нового поколения, обеспечивающие эффективное конструкторско-технологическое масштабирование

## DEVELOPING OF TECHNOLOGY CLUSTER FOR FLEXIBLE PRINTED ELECTRONICS

P.Afanasyev Ph.D., O.Bokhov Ph.D., V.Luchinin D.Sc. / cmid\_leti@mail.ru

**A special place among innovating electronic technologies have the solutions in the field of flexible printed electronics and photonics. A modern hi-tech hardware and software platform for express prototyping and production of innovative microengineering products is a cluster for flexible printed electronics.**

Process flow of modern electronic production is organized according to the principles of modularity design of products, unification and application of the component basis of frameless electronic, use of multi-chip modules, flexible and 3D substrate layers, as well as implementation of 3D-integration and intertype integration of electronic, optical and mechanical components.

As previously stated [1], a term "flexible electronics" (polymeric, printed) reflects two principal constituent of this direction. First, the material science basis – the design-material specific peculiarity of substrates, switching-isolation systems and functional elements. Secondly, technological basis – a complex of methods for formation of the functional elements and switching-isolation systems, based on the roll screen and (or) inkjet printing technology.

### CONCEPT OF THE TECHNOLOGIC CLUSTER FOR FLEXIBLE PRINTED ELECTRONICS

For formation of hi-tech hardware and software platform of micro- and nanotech production based on technology of flexible electronics and photonics, is necessary to solve the following problems [1]:

- to introduce modern technology of the end-to-end design of new generation products, ensuring effective engineering scaling of traditional macro prototypes for proceeding to micro- and nanotech production;
- to develop modern technological base of micro- and nanotech production with preferred orientation to the usage of packageless components, 3D-integration of elements and flexible inkjet printing technology;



классических макропрототипов для перехода к изготовлению изделий микро- и нанотехники;

- сформировать и освоить современную технологическую базу синтеза изделий микро- и нанотехники с преимущественной ориентацией на бескорпусную элементную базу, 3D-интеграцию элементов и использование гибких бесшаблонных струйных печатных технологий;
- освоить технологические маршруты, реализуемые на основе гибкой инфраструктурной организации широкой номенклатуры технологических модулей с высокой степенью автоматизации процессов, обеспечивающих динамичность перестройки и быстроту адаптации операций;
- осуществить экспресс-прототипирование и организовать производство широкой номенклатуры изделий нового поколения с ранее недостижимыми масс-габаритными, энергетическими и техническими характеристиками при минимизации временных и экономических затрат. Последнее достигается путем внедрения новой культуры проектирования и технологической реализации изделий в условиях высокой степени автоматизации оборудования и возрастании роли интеллектуальной составляющей человеческого фактора на этапе подготовки производства.

Технологические кластеры гибкой печатной электроники целесообразно ориентировать на производство таких изделий, как сверхминиатюрные радиотехнические модули, в том числе интегрированные с сенсорами и системами для сбора и передачи информации (включая идентификацию личности и объектов), миниатюрные навигационно-ориентационные системы для автономной навигации и позиционирования, микроаналитические системы типа "лаборатория на чипе" матричного и капиллярного типов для биомедицинского и технического контроля биотехносферы, интеллектуальная высокоинтегрированная мультифункциональная одежда, в том числе с эпидермальной и (или) внутриорганизменной распределенной сенсорно-исполнительной системой, распределенные, гибкие и иные миниатюрные источники энергии, включая рекуператоры из эфира и окружающей среды, микроборботехнические средства наземного и воздушного базирования.

Наиболее востребованными изделиями гибкой электроники и фотоники являются гибридные миниатюрные устройства, интегрирующие

- to master process flow, implemented on the basis of flexible infrastructural organization of wide range of high automated technology modules, providing dynamic changeover and fast operations adaptation;
- to exercise express prototyping and launch manufacturing of a wide range of new generation products with formerly unattainable mass, overall dimensions, energy and technical features combined with minimizing of expenses. The latter is achieved by means of implementing new design methods under the conditions of high automation equipment and increasing the role of intellectual aspect of human factor at the preproduction stage.

It is reasonable to orient the technology clusters for flexible printed electronics on the manufacture of such products, as subminiature electronic modules, including integrated ones with sensors and systems for the gathering and transmission of information (including personal and objects identification), miniature stand-alone systems for the navigation and localization, micro analytical lab-on-a-chip devices of the matrix and capillary types for biomedical and technical inspection of a bio-technosphere, highly integrated smart multifunctional clothes, including with epidermal and (or) intra-distributed sensors, distributed, flexible and other miniature energy sources including recuperative heat exchangers, micro-robotics means ground- and air-based.

Most in demand products of the flexible electronics and photonics are hybrid microdevices, that integrate sensory and executive microsystems with infocommunication-chips for data gathering, processing and transmission (for example, navigation or biomedical modules). Upcoming trends should be recognized microrobotics, smart clothes and lab-on-a-chip devices. It is quite efficient to use technology of flexible electronics and photonics for the production of optical radiators and converters at a flexible substrate, as well as on organic and nonorganic flexible accumulators. Of great interest is development of special textile technologies using micro- and nanofibers with varied physical and chemical, thermo physical, electrical, optical and biological properties.

Basic trends in design of a new generation products should be recognized reduction of mass and overall dimensions, power consumption reduction and standalone operation time increment, increasing resistance to external



сенсорные и исполнительные микросистемы с инфокоммуникационными кристаллами-чипами для сбора, обработки и передачи информации (например, ориентационно-навигационные или биомедицинские модули). Перспективными направлениями следует признать микроробототехнику, интеллектуальную одежду и "лаборатории на чипе". Весьма эффективно использование технологий гибкой электроники и фотоники для производства излучателей и преобразователей оптического излучения на гибком субстрате, а также органо-неорганических гибких аккумуляторов. Большой интерес представляет развитие специальных текстильных технологий с использованием микро- и нановолокон с различными физико-химическими, теплофизическими, электрическими, оптическими и биологическими свойствами.

Базовыми тенденциями изменения технических и эксплуатационных характеристик изделий нового поколения следует признать снижение массо-габаритных показателей, сокращение энергопотребления и увеличение времени автономного функционирования, повышение стойкости к внешним воздействиям, вариабельность конструктивного исполнения для оперативной адаптации изделия при изготовлении и использовании. Выбор состава технологического оборудования для формирования технологического кластера гибкой печатной электроники определяется возможностью производства на нем широкого класса изделий по типовым унифицированным базовым технологическим маршрутам.

Анализ совокупности технологических операций и решений, используемых в производстве гибкой электроники и фотоники, позволил сформулировать ряд рекомендаций относительно выбора технологий [2]:

- наиболее динамично перестраиваемой технологией в отношении топологической локализации и состава осаждаемого материала является капельно-струйная печать, обеспечивающая микронное разрешение;
- формирование трехмерных конструкций с достаточно высоким микронным пространственным разрешением обеспечивается объемной лазерной стереолитографией;
- наиболее высокую скорость формирования сложной коммутации на поверхности 2D- и 3D-объектов обеспечивает лазерная конверсия (модификация) металлоконтактного полимерного субстрата.

influences, as well as variability of design for rapid adaptation of products in the course of production and usage. Selection of processing equipment configuration for development of technological cluster for flexible printed electronics is determined by the capability of producing a wide class of products according to unified primary process flow.

Analysis of technological operations and solutions, used in the production of flexible electronics and photonics, has allowed formulating a range of prescriptions regarding to technology option [2]:

Analysis of process steps and solutions used in the manufacture of flexible electronics and photonics, allowed us to formulate a set of recommendations on the choice of technology [2]:

- The most flexible technology in relation to topologic localization and composition of the deposited material is a inkjet printing, providing micron resolution;
- formation of 3D structures with sufficiently high resolution is provided by laser stereolithography;
- highest speed of formation of the complex switching on a surface of 2D- and 3D-objects is provided by laser conversion (modification) of the metal-contained polymeric substrate.

## TECHNOLOGY CLUSTER FOR FLEXIBLE PRINTED ELECTRONICS IN ST. PETERSBURG

For the purpose of efficient use of scientific, technological and HR capacities of the Saint-Petersburg State Electrotechnical University (LETI) on its basis there was founded "Interuniversity center of prototyping and contract manufacturing of micro- and nanoengineering" (MCKP) [3] in 2011. The Center is specialized in technology of flexible electronics and has obtained from the foreign equipment manufacturers the right to represent their interests in Russia. In particular, the MCKP is an official distributor of Roth&Rau, Amicra and Asyril companies (see flap of the cover page).

Amicra produces equipment for a modern micro manufacture. There should be noted the systems for chipping, which allow applying innovation technologies of 3D-assembling, flip chip technic, systems for application of "ink" on a substrate.

Roth&Rau produces processing equipment for coating, including coating with using of inkjet printing.

Asyril designs and produces mechatronic micro devices for automation in the field of micro- and nanoengineering, biotechnology and medicine.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КЛАСТЕР ГИБКОЙ ПЕЧАТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В СПбГЭТУ (ЛЭТИ)

С целью эффективного использования научно-технологического и кадрового потенциала Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета (ЛЭТИ) в 2011 году на базе вуза был создан "Межвузовский центр прототипирования и контрактного производства микро- и нанотехники" (МЦКП) [3]. Центр специализируется в области технологий гибкой электроники и получил от ряда зарубежный производителей оборудования право представлять их интересы в России. В частности, МЦКП является официальным дистрибутором фирм Roth&Rau, Amicra и Asyril (см. клапан обложки).

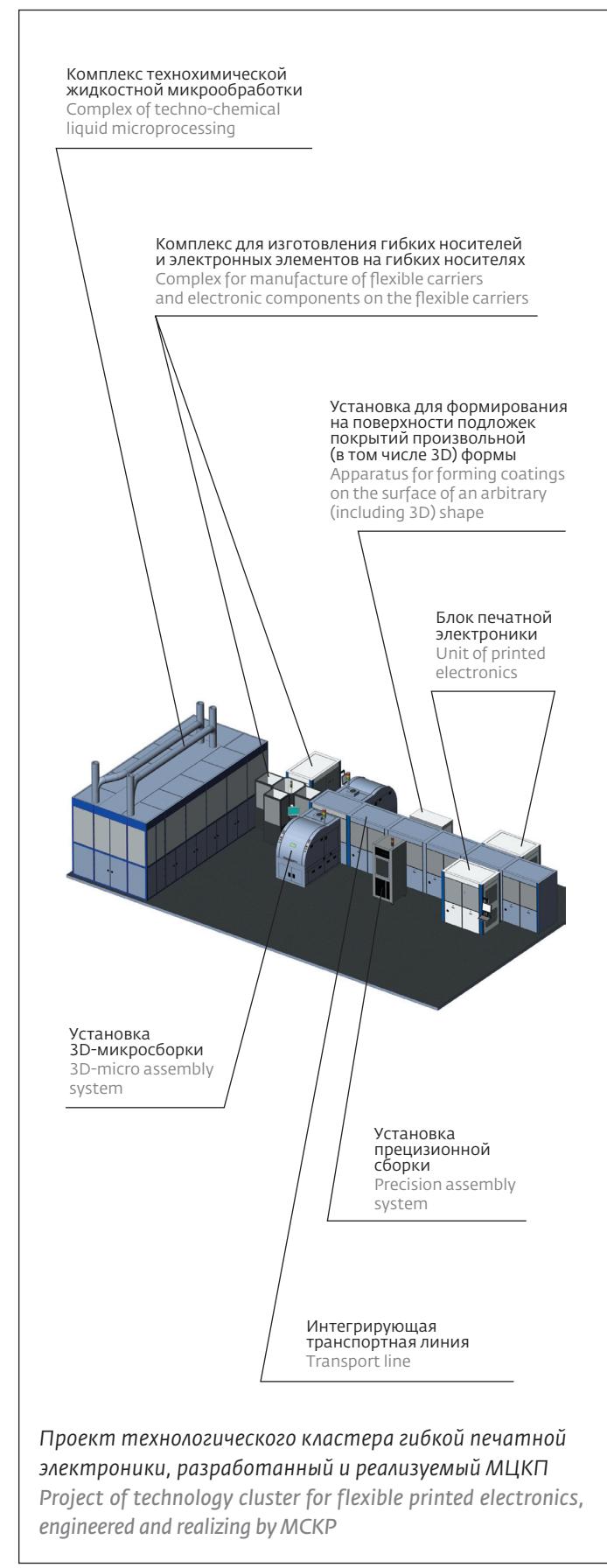
Компания Amicra изготавливает оборудование для современных микропроизводств. Следует особо отметить системы для монтажа кристаллов, которые позволяют применять передовые технологии 3D-сборки, технику перевернутого кристалла, системы для нанесения "чернил" на подложку.

Фирма Roth&Rau производит технологическое оборудование для создания различных покрытий, в том числе с применением струйной печати.

Asyril разрабатывает миниатюрные мехатронные устройства для автоматизации в области микро- и нанотехнологий, биотехнологий и медицины. Компания предлагает компактные высокопроизводительные системы сборки и упаковки.

В 2013 году ЛЭТИ создал совместную исследовательскую лабораторию с финской компанией Венец – одним из ведущих производителей промышленного и исследовательского оборудования для получения покрытий методом атомно-молекуллярной сборки и спрей-технологий. Инновации Венец в области получения тонких пленок – системы непрерывного рулонного осаждения слоев (Roll-to-Roll) и высокопроизводительного аэрозольного нанесения покрытий (nAERO) – позволили привлечь инвестиции "Роснано" для развития данных технологий в России.

Несмотря на отсутствие в нашей стране как комплекса системно упорядоченных НИОКР в области гибкой печатной электроники, так и российского технологического оборудования для вышеуказанных целей, коллективу ЛЭТИ и МЦКП удалось разработать технологический кластер гибкой печатной электроники, элементы которого проходят опробование на базе Центра микротехнологии и диагностики ЛЭТИ.





Предполагается, что ЛЭТИ возьмет на себя проектирование изделий, разработку технологических маршрутов, отработку технологических операций и обучение персонала. МЦКП, как центр прототипирования и контрактного производства, обеспечит поставку и наладку оборудования, установку программного обеспечения, отработку технологических операций и маршрутов у заказчика, гарантийное обслуживание оборудования, а также кадровое сопровождение аппаратно-программного комплекса.

Отличительные особенности проекта формирования и развертывания технологического кластера гибкой печатной электроники в ЛЭТИ:

- базовыми материалами для изделий нового поколения станут нанокомпозиции (расходные материалы для струйной печати токопроводящих элементов коммутационных систем, микроантенн, энергонезависимых радиоидентификаторов, металло-полимерных источников питания) с применением углеродных, металлических, полупроводниковых и магнитных наночастиц;
- процессы синтеза и формообразования материалов будут реализованы по технологиям атомно-слоевого осаждения, удаления и модификации (печатные технологии формирования нанослоевых композиций для гибких излучателей, фотоприемников и источников питания);
- позиционирования ЭКБ в сборочных операциях с микро- и наноразмерной точностью (создание сверхминиатюрных высокointегрированных технических средств на основе элементной базы фотоники и интегральной оптики с высокими требованиями по точности позиционирования объектов при сборке).

## ЛИТЕРАТУРА

1. П.Афанасьев, О.Бохов, В.Лучинин. Научно-технологический комплекс экспресс-прототипирования изделий гибкой электроники и фотоники. – Наноиндустрия, 2013, №6 (44), с. 94–104.
2. В. Лучинин. Гибкая электроника. – Наноиндустрия, 2013, №8 (46), с. 26–32.
3. Афанасьев П. В., Бохов О.С., Кутузов В.М., Лучинин В.В., Шестопалов М.Ю. Реализация инновационного потенциала вуза. Центр прототипирования и контрактного производства микро- и нанотехники. – Наноиндустрия, 2012, №6 (36), с. 52–60.

The Company proposes compact high-performance systems of assembly and package.

In 2013 LETI established a joint research laboratory with a Finnish Beneq Company – one of the leading manufacturers of industrial and research equipment for the coatings by atomic and molecular assembly and aerosol technologies. Beneq innovations in the field of thin-film production – systems of atomic layer deposition (Roll-to-Roll) and high-performance aerosol application of coatings (nAERO) allowed attract investments of Rosnano for the developing of the given technologies in Russia.

Despite the lack in Russia both systematic R&D in the field of flexible printed electronics and Russian processing equipment for above-mentioned purposes, the LETI and MCKP team developed technology cluster for flexible printed electronics, which elements pass an approbation on the base of Microengineering and Diagnostic Center of LETI.

It is assumed, that LETI will implement product engineering, technology planning, working out technological operations and training of staff. MCKP, as the Center on prototyping and contract manufacturing, shall provide equipment supply and commissioning, software installation, development technological operations and processing flow at customer's place, equipment warranty service, as well as support of the hardware-software complex.

The key features of the project of the technology cluster for flexible printed electronics in the LETI:

- main materials for new generation products will nanocomposites (consumables for inkjet printing of conductive elements of the switching systems, micro antennas, nonvolatile radio identifiers, metal-polymeric power supply devices) with carbonic, metallic, semiconducting and magnetic nanoparticles;
- processes of synthesis and shaping of materials will be realized by atomic layer deposition, removal and modification (use of printing technologies for producing of nano-layer compositions for flexible radiating elements, light-sensitive devices and power supply devices);
- positioning of Electronic Component Base in assembly operations with micro- and nanoscaled accuracy (development of subminiature highly-integrated systems on the basis of hardware components of photonics and integral optics with high precision positioning of objects in the assembly). ■

