ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ КАРБИДОКРЕМНИЕВОЙ ЭКБ. СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО СПбГЭТУ "ЛЭТИ" И ПАО "СВЕТЛАНА"

IMPORT SUBSTITUTION OF SILICON CARBIDE ELECTRONIC COMPONENTS. STRATEGIC PARTNERSHIP OF LETI AND SVETLANA PJSC

УДК 621.382, ВАК 05.27.06, DOI: 10.22184/1993-8578.2017.79.8.50.59

А.Афанасьев[1], В.Вьюгинов[2], Н.Гладков[2], А.Зыбин[2], В.Ильин[1], В.Клевцов[2], В.Кутузов[1], В.Лучинин[1], В.Попов[2]
A.Afanasyev[1], V.Vyuginov[2], N.Gladkov[2], A.Zybin[2], V.Ilyin[1], V.Klevtsov[2], V.Kutuzov[1], V.Luchinin[1], V.Popov[2]

В рамках решения задачи импортозамещения с целью обеспечения технологической независимости и безопасности государства реализовано стратегическое партнерство СПбГЭТУ "ЛЭТИ" и ПАО "Светлана" в области организации отечественного технологического маршрута изготовления ЭКБ на основе карбида кремния.

As part of the import substitution task with the aim of ensuring technological independence and state security, the strategic partnership of LETI and Svetlana PJSC in the field of organization of the domestic technological route for the manufacture of electronic components based on silicon carbide was realized.

Импортозамещение – сокращение или отказ от импорта определенного вида товара в рамках организации его собственного производства – является чрезвычайно актуальной задачей для радиоэлектронного комплекса России с целью обеспечения технологической независимости и безопасности государства. Известны базовые критерии принятия решения о целесообразности импортозамещения:

- высокий уровень ограничений в поставках на российский рынок критических продуктов;
- критичность продукта для обеспечения безопасности страны и его востребованность на отечественном рынке;
- наличие производственно-технологической базы для выпуска отечественных аналогов;
- наличие научно-технических компетенций и кадрового обеспечения.

Дополнительными условиями для реализации процесса импортозамещения являются:

- доступность или наличие инновационных технологий;
- обоснованность и возможность инвестирования в модернизацию или создание новых производств.

При формировании программы работ в области импортозамещения в радиоэлектронном комплексе, исходя из многообразия электронной компонентной базы, приоритетными были признаны импортозамещение по аппаратурно-ориентированному принципу с акцентом на создание функционально законченного и объективно востребованного продукта. При этом весь рынок радиоэлектронной продукции был условно поделен на специальную, профессиональную и потребительскую радиоэлектронику.

Целью данной статьи является представление основных результатов формирования полностью отечественного технологического маршрута промышленного производства ЭКБ для экстремальных режимов и условий эксплуатации на основе широкозонного алмазоподобного полупроводникового материала – карбида кремния (рис.1).

[1] Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" (СПбГЭТУ "ЛЭТИ") / Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI".
[2] ПАО "Светлана" / Svetlana PJSC.

СПбГЭТУ "ЛЭТИ" – ПАО "СВЕТЛАНА": СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО

Как отмечено в работе [1], "в современной международной конкурентной среде, ориентированной на решение задач в области создания электронной компонентной базы (ЭКБ), достаточно редко можно встретить ссылки на отечественные разработки, коренным образом изменившие рынок инновационной продукции по приоритетным направлениям, определяющим технологическую независимость и безопасность государства". Среди ряда международно-признанных научно-технологических прорывов СПбГЭТУ "ЛЭТИ", безусловно, следует выделить разработанный впервые в мире (рис.2) метод выращивания объемных монокристаллов карбида кремния (метод ЛЭТИ) [2]. Позволив получать карбидокремниевые подложки, пригодные для организации интегрально-группового производства приборов, метод ЛЭТИ определил переход к промышленной технологии изготовления ЭКБ на карбиде кремния во всей мировой практике.

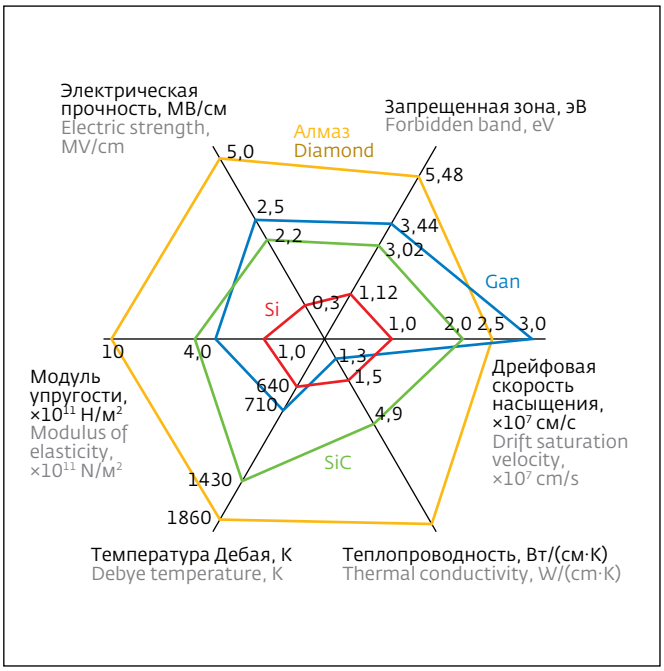


Рис.1. Материалы экстремальной электроники

Fig.1. Materials for extreme electronics

Import substitution as a reduction or refusal of import of a certain type of goods within the framework of the organization of its own production is an extremely urgent task for the radio electronic complex of Russia in order to ensure technological independence and state security. Known are the basic criteria for deciding on the expediency of import substitution:

- high level of restrictions in the supply of critical products to the Russian market;
- importance of the product to ensure the country's security and its relevance to the domestic market;
- availability of production and technological base for the manufacturing of domestic analogues;
- availability of scientific and technical competencies and staffing.

Additional conditions for the implementation of the import substitution process are:

- availability of innovative technologies;
- reasonableness and possibility of investing in modernization or creation of new productions.

When creating a program of measures in the field of import substitution in the radio electronic complex, based on the diversity of the electronic components, import substitution according to the hardware-oriented principle with emphasis on the creation of a functionally complete and objectively demanded product was recognized as priority. At the same time, the whole market of radio electronic products was conditionally divided into special, professional and consumer radio electronics.

The purpose of this article is to present the main results of the formation of a completely domestic technological route for industrial production of electronic components for extreme operating conditions based on a wide-gap diamond-like semiconductor material, silicon carbide (Fig.1).

STRATEGIC PARTNERSHIP OF LETI AND SVETLANA PJSC

As noted in [1], "in the modern international competitive environment focused on solving problems in the field of creating electronic components, it is rare to find references to domestic developments that radically changed the market of innovative products in the priority areas that determine the technological independence and security of the state". Among a number of internationally recognized scientific and technological breakthroughs of LETI, it is absolutely necessary to single out the world's first method of growing bulk silicon

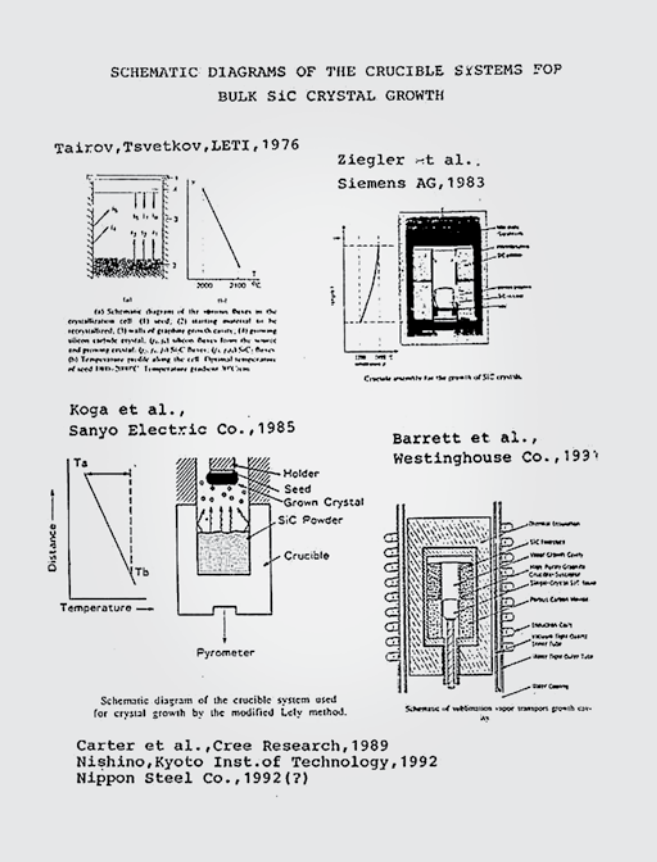


Рис.2. Подборка зарубежных публикаций, подтверждающих отечественный приоритет в технологии роста объемных монокристаллов карбида кремния

Fig.2. Selection of foreign publications confirming Russian priority in technology for growth of bulk silicon carbide single crystals

В конце 2014 года участники совещания "Карбид кремния. Интеграция научно-образовательного и промышленного потенциала России", прошедшего в СПбГЭТУ "ЛЭТИ" и собравшего представителей 34 отечественных организаций, констатировали отсутствие системного подхода к решению вопроса о формировании в России современного промышленного производства полупроводникового карбида кремния и ЭКБ на его основе и необходимость создания карбидокремниевой индустрии как одного из направлений импортозамещения для обеспечения паритета в технологиях, определяющих научно-технологическое превосходство и безопасность государства.

Концентрация инфраструктурных ресурсов, знаний, компетенций и кадрового потенциала в области карбидокремниевой электроники от выращивания объемных монокристаллов до постростовых процессов планарной технологии, сборки и испытания изделий позволила в течение последних трех лет сформировать в рамках стратегического партнерства СПбГЭТУ "ЛЭТИ" и ПАО "Светлана" полный отечественный технологический маршрут изготовления ЭКБ на карбиде кремния. Представленный на рис.3 импортозамещающий технологический маршрут ориентирован на создание ЭКБ с ранее недостижимыми энергоимпульсными параметрами и приборов силовой сильноточной высоковольтной электроники с повышенной устойчивостью к воздействию экстремальных факторов.

Базовые составляющие дорожной карты импортозамещения карбидокремниевой ЭКБ иллюстрирует табл.1.

carbide single crystals (LETI method) (Fig.2) [2]. By allowing to obtain silicon carbide substrates that are suitable for organization of integrated group production of devices, the LETI method has determined the transition to an industrial technology for fabricating electronic components on silicon carbide in the entire world practice.

At the end of 2014, the participants of the conference "Silicon Carbide: Integrating the Scientific, Educational and Industrial Potential of Russia", which was held at LETI and gathered representatives of 34 domestic organizations, noted the lack of a systematic approach to solving the problem of the formation in Russia of modern industrial production of semiconductor silicon carbide and electronic components based on it and the need to create a silicon carbide industry as one of the areas of import substitution to ensure parity in technologies, determines scientific and technological superiority and security of the state.

The concentration of infrastructure resources, knowledge, competencies and personnel potential in the field of silicon carbide electronics from the growth of bulk single crystals to the build-up processes of planar technology, assembly and testing of products has made it possible within the last three years to form within the framework of the strategic partnership of LETI and Svetlana PJSC a complete domestic technological route of manufacturing electronic components on silicon carbide. The import-substituting technological route presented in Fig.3 is oriented to the creation of electronic components with previously unattainable energy-impulse parameters and high-current high-voltage

Таблица 1. Фрагмент дорожной карты импортозамещения карбидокремниевой ЭКБ, реализуемой в рамках стратегического партнерства СПбГЭТУ "ЛЭТИ" и ПАО "Светлана"

Table 1. Fragment of import substitution road map for silicon carbide electronic components, implemented within framework of strategic partnership of LETI and Svetlana PJSC

Название работы, шифр, формат Work title, code, format	Сроки проведения Dates
ОКР "Разработка технологии и освоение производства линейки диодных коммутирующих элементов с наносекундными и пикосекундными временами переключения и рабочими напряжениями 30...3 000 В" (шифр "Аппарат-10"), заказчик – Минпромторг R&D project "Development of technology and mastering the production of a serie of diode switching elements with nanosecond and picosecond switching times and operating voltages of 30...3 000 V" (Apparatus-10), customer – the Ministry of Industry and Commerce	16.11.2015 – 30.11.2017
ОКР "Создание промышленного эпитаксиального производства карбидокремниевых многослойных структур для отечественного электронного приборостроения" (шифр "Ресурс-К"), заказчик – Минобрнауки. Комплексный проект по созданию высокотехнологичного производства в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 218 от 09.04.2010 г. (IX очередь) R&D project "Creation of industrial epitaxial production of silicon carbide multilayer structures for domestic electronic instrumentation" (Resource-K), customer – the Ministry of Education and Science. A comprehensive project to create high-tech production in accordance with the decree of the Government of the Russian Federation No. 218 of 09.04.2010 (phase IX)	27.04.2017 – 31.12.2019
ОКР "Разработка и освоение серийного производства радиационно-стойких высоковольтных транзисторов с максимальным напряжением 1700 В и током до 25 А и диодов на основе эпитаксиальных структур карбида кремния на напряжение до 1700 В и ток до 20 А для жестких условий эксплуатации" (шифр "Вольт-И13-Т"), заказчик – Минпромторг R&D project "Development of serial production of radiation-resistant high-voltage transistors with maximum voltage of 1700 V and current up to 25 A and diodes based on silicon carbide epitaxial structures for voltage up to 1700 V and current up to 20 A for harsh operating conditions" (Volt-И13-T), customer – the Ministry of Industry and Commerce	01.12.2017 – 20.11.2019

Все указанные в дорожной карте проекты реализуются совместно вышеуказанными организациями, и важнейшим условием их выполнения является организация на базе ПАО "Светлана" промышленного производства импортозамещающей продукции. Следует особо отметить проект "Создание

electronics with increased resistance to the influence of extreme factors.

The basic components of the road map for import substitution of carbide-silicon electronics are illustrated in Table 1.

All projects listed in the road map are implemented jointly by the above organizations and the most important condition for their implementation is the organization on the basis of Svetlana PJSC of industrial production of import-substituting products. Special mention should be made of the project "Creation of industrial epitaxial production of silicon carbide multilayer structures for domestic electronic instrumentation", which has been implemented since April 2017 in accordance with RF Government Decree No.218 of 09.04.2010 (phase IX). Epitaxial growth of silicon carbide will be carried out within the framework of a joint scientific and educational laboratory created on the basis of a specialized clean room in Svetlana PJSC. The technology of epitaxial growth of SiC is performed by the employees of LETI on the equipment of the university. Alloyed substrates for power electronics are manufactured by LETI, and semi-insulating substrates for microwave electronics – by Svetlana PJSC. In fact, the implementation of the project will ensure the independence of the Russian Federation in the field of silicon carbide semiconductor materials in the form of epitaxial multilayer structures on single-crystal SiC substrates of its own production.

The first stage of the implementation of the road map for the creation of a silicon carbide electronic components in the framework of the R&D project "Development of technology and mastering the production of a serie of diode

Рис.3. Технологический маршрут изготовления отечественной ЭКБ на карбиде кремния для экстремальных режимов и условий эксплуатации, реализуемый в рамках стратегического партнерства СПбГЭТУ "ЛЭТИ" и ПАО "Светлана"

Fig.3. Workflow for manufacture of domestic electronic components on silicon carbide for extreme operating conditions, implemented within framework of strategic partnership of LETI" and Svetlana PJSC

switching elements with nanosecond and picosecond switching times and operating voltages of 30...3 000 V" (Apparatus 10) commissioned by the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation was successfully completed by the organization of industrial production with the letter "A" of the domestic electronic components of subnanosecond high-voltage electronics, which are intended for solving the problems of ultra-wideband communication, radar and radio-electronic counteraction.

From the end of 2017, the R&D project "Development of serial production of radiation-resistant high-voltage transistors with maximum voltage of 1700 V and current up to 25 A and diodes based on silicon carbide epitaxial structures for voltage up to 1700 V and current up to 20 A for harsh operating conditions" (Volt-И13-T) commissioned by the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation is being implemented. This project is aimed at creation of electronic components for domestic high-performance power commuting and transforming modules, designed for high voltages and currents. Currently, employees of LETI have created field-effect transistors with an isolated gate (MOSFET) on silicon carbide [3]. Silicon carbide components have a number of advantages over silicon, including high values of breakdown voltages, low resistance of the active region, low switching losses, high maximum operating temperature and increased radiation resistance.

During 2018–2019 years, it is planned to create on the base of Svetlana PJSC a full technological line for fabricating a silicon carbide components for power high-voltage electronics.

промышленного эпитаксиального производства карбидокремниевых многослойных структур для отечественного приборостроения", реализуемый с апреля 2017 года в соответствии с постановлением Правительства РФ № 218 от 9 апреля 2010 года (IX очередь). Эпитаксиальный рост карбида кремния будет осуществляться в рамках совместной научно-образовательной лаборатории, создаваемой на базе специализированной "чистой комнаты" на территории ПАО "Светлана". Постановку технологии эпитаксиального роста SiC выполняют сотрудники СПбГЭТУ "ЛЭТИ" на оборудовании университета. Легированные подложки для силовой электроники изготавливает СПбГЭТУ "ЛЭТИ", а полуизолирующие для СВЧ-электроники – ПАО "Светлана". Фактически реализация проекта обеспечит независимость Российской Федерации в области карбидокремниевых полупроводниковых материалов в виде эпитаксиальных многослойных структур на монокристаллических подложках SiC собственного производства.

Первый этап реализации дорожной карты создания карбидокремниевой ЭКБ в рамках выполняемой по заказу Минпромторга РФ ОКР "Разработка технологии и освоение производства линейки диодных коммутирующих элементов с наносекундным и пикосекундным временем переключения и рабочими напряжениями 30...3000 В" (шифр "Аппарат 10") успешно завершен организацией промышленного производства с литерой "А" отечественной ЭКБ субнаносекундной высоковольтной электроники, предназначенной для решения задач

Рис.4. Экспозиция "Стратегическое партнерство СПб ГЭТУ "ЛЭТИ" и ПАО "Светлана". Международная выставка ChipEXPO-2017, Москва

Fig.4. Exposition devoted to strategic partnership of LETI and Svetlana PJSC. International exhibition ChipEXPO-2017, Moscow

сверхширокополосной связи, радиолокации и радиоэлектронного противодействия.

С конца 2017 года по заказу Минпромторга РФ реализуется ОКР "Разработка и освоение серийного производства радиационно-стойких высоковольтных транзисторов с максимальным напряжением 1700 В и током до 25 А и диодов на основе эпитаксиальных структур карбида кремния на напряжение до 1700 В и ток до 20 А для жестких условий эксплуатации" (шифр "Вольт-И13-Т"). Данный проект направлен

Silicon carbide in the power electronics market occupies the niche of the material for devices that increase the efficiency of energy conversion in harsh conditions and under extreme operating conditions due to the use of high voltages and current density, high-speed switching.

JOINT EXPOSITION OF LETI AND SVETLANA PJSC AT INTERNATIONAL EXHIBITION CHIPEXPO-2017

The strategic partnership of LETI and Svetlana PJSC, as a result of long-term cooperation in the fields of power pulse and high-frequency electronics, as well as of vacuum and X-ray electronics, was presented at a specialized joint exposition at the XV International electronics exhibition ChipEXPO-2017 (October 31 – November 2, the Expocentre exhibition complex, Moscow).

At the joint exposition of LETI and Svetlana PJSC (Fig.4), named "Strategic partnership", innovative domestic products were presented (Table 2).

In fact, for the first time, innovative developments were demonstrated that were associated not only with the defense industry but also with a socially oriented sphere, including micro- and nanosystems for the medical, biological (laboratory-on-chip) and food (sensor platform with RFID) safety. Special attention should be paid to developments in the field of electromagnetic and information security, as well as to systems for energy recovery from the environment.

Describing future priorities in joint development, vacuum and X-ray electronics should be clearly distinguished, in view of the considerable progress achieved in the creation of highly effective stable field emission cathodes based on the "silicon

на обеспечение электронными компонентами отечественных высокоэффективных силовых коммутирующих и преобразующих модулей, рассчитанных на высокие напряжения и токи. В настоящее время сотрудниками СПбГЭТУ "ЛЭТИ" созданы полевые транзисторы с изолированным затвором (MOSFET) на карбиде кремния [3]. Карбидокремниевые компоненты силовой электроники характеризуются рядом преимуществ по сравнению с кремниевыми, включая высокие значения напряжений пробоя, низкое сопротивление активной области, низкие потери при переключении, высокая максимальная рабочая температура и повышенная радиационная стойкость.

В течение 2018–2019 годов планируется создание на базе ПАО "Светлана" полной технологической линии изготовления карбидокремниевой ЭКБ силовой высоковольтной электроники.

Карбид кремния на рынке силовой электроники устойчиво занимает нишу материала для устройств, обеспечивающих повышение эффективности преобразования энергии в жестких условиях и при

Таблица 2. Отечественная инновационная продукция на совместной экспозиции СПбГЭТУ "ЛЭТИ" и ПАО "Светлана" на выставке ChipEXPO-2017

Table 2. Domestic innovative products at joint exposition of LETI and Svetlana PJSC at ChipEXPO-2017 exhibition

Монокристаллы и монокристаллические подложки карбида кремния
Monocrystals and single-crystal silicon carbide substrates

Монокристаллические слитки карбида кремния 3 и 4 дюйма, политип 6H, полуизолизующие
Single-crystal 3 and 4 inches ingots of silicon carbide, 6H polytype, semi-insulating
Отечественное производство монокристаллических слитков высокоомного карбида кремния для высокочастотной электроники
Domestic production of single-crystal ingots of high-resistance silicon carbide for high-frequency electronics
- Диаметр: 76–100 мм
- Политип: 6H
- Diameter: 76–100 mm
- Polytype: 6H

Монокристаллические слитки карбида кремния 3 и 4 дюйма, политип 4H, легированные
Single-crystal 3 and 4 inches ingots of silicon carbide, 4H polytype, alloyed
Отечественное производство монокристаллических слитков низкоомного легированного карбида кремния для силовой электроники
Domestic production of single-crystal ingots of low-resistance alloyed silicon carbide for power electronics
- Диаметр: 76–100 мм
- Политип: 4H
- Diameter: 76–100 mm
- Polytype: 4H

Монокристаллические подложки карбида кремния 3 и 4 дюйма, политип 6H, полуизолизующие, epi-ready
Single-crystal 3 and 4 inches silicon carbide substrates, 6H polytype, semi-insulating, epi-ready
Отечественное производство монокристаллических высокоомных полуизолизующих подложек карбида кремния для высокочастотной электроники
Domestic production of single-crystal high-resistance semi-insulating silicon carbide substrates for high-frequency electronics
- Удельное сопротивление: 10^6, 10^{10} Ом·см
- Диаметр: 76–100 мм
- Плотность дислокации: 10^3 см$^{-2}$
- Плотность пор: 1–5 см^2
- Политип: 4H
- Specific resistance: 10^6, 10^{10} Ohm·s
- Diameter: 76–100 mm
- The dislocation density: 10^3 cm^{-2}
- Pore density: 1–5 cm^2
- Polytype: 4H

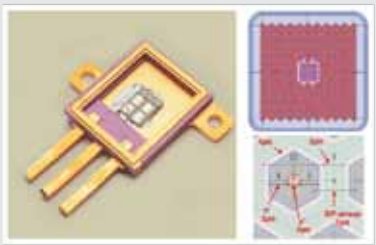
Монокристаллические подложки карбида кремния 3 и 4 дюйма, политип 4H, легированные, epi-ready
Single-crystal 3 and 4 inches silicon carbide substrates, polytype 4H, alloyed, epi-ready
Отечественное производство монокристаллических легированных подложек карбида кремния для силовой электроники
Domestic production of single-crystal alloyed silicon carbide substrates for power electronics
- Удельное сопротивление: $5\cdot10^{-3}$–10^{-1} Ом·см
- Диаметр: 76–100 мм
- Плотность дислокации: 10^3 см^2
- Плотность пор: 1–5 см^2
- Политип: 4H
- Specific resistance: $5\cdot10^{-3}$–10^{-1} Ohm·s
- Diameter: 76–100 mm
- The dislocation density: 10^3 cm^2
- Pore density: 1–5 cm^2
- Polytype: 4H

Импульсная и высокочастотная электроника
Pulse and high-frequency electronics

Кремниевый дрейфовый диод с резким восстановлением обратного сопротивления в корпусе SOT-23
Silicon drift diode with sharp restoration of reverse resistance in the SOT-23 package
Для генерации и коммутации пикосекундных импульсов
For the generation and switching of picosecond pulses

Семейство карбидокремниевых дрейфовых диодов для генерации сверхкоротких импульсов
Family of silicon carbide-silicon drift diodes for generating ultrashort pulses
- Рабочее напряжение: 80–3 000 В
- Время переключения: 50–900 пс
- Operating voltage: 80–3 000 V
- Switching times: 50–900 ps

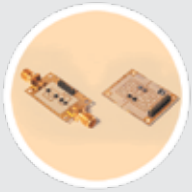
Высоковольтные импульсные SiC диодные сборки
High-voltage impulse SiC diode assemblies
Использована технология стековой сборки карбидокремниевых кристаллов диодных структур с коммутирующими напряжениями до 3 кВ
Stack assembly of silicon carbide diode structures with switching voltages up to 3 kV
- U_{max} = 3–35 кВ
- $t_{фр.}$ < 1 нс
- U_{max} = 3–35 kV
- t_{fr} <1 ns



Силовой SiC-транзистор
Power SiC transistor
Максимальное рабочее напряжение: V_{dss} ≥ 1000 В
Плотность тока: J_{ds} ≥ 200 А/см^2
Сопротивление: $R_{ds\ spec(on)}$ ≥ 20 мОм·см^2
Напряжение включения: V_{th} ≈ 1,8 В, I_{ds} = 10 мкА
Maximum operating voltage: V_{dss} ≥ 1000 V
Current density: J_{ds} ≥ 200 A/cm^2
Resistance: $R_{ds\ spec(on)}$ ≥ 20 mΩ·cm^2
Switching voltage: V_{th} ≈ 1.8 V, I_{ds} = 10 μA

Пластина с гетероструктурами типа "GaN на SiC" для сверхвысокочастотных HEMT-транзисторов
Wafer with GaN on SiC heterostructures for ultrahigh-frequency HEMT transistors
- D = 50,8 мм
- D = 50.8 mm

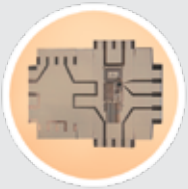
Однокаскадный усилитель мощности на базе GaN HEMT
One-stage power amplifier based on GaN HEMT
Создан на основе кристаллов собственного производства
Created on the basis of own production chips



Фазовращатель на микромеханических ключах
Phase shifter with micromechanical switches
Создан на основе МЭМ-элементов типа SP4T с электростатическим управлением
Created on the basis of SP4T MEM-elements with electrostatic control
- Диапазон частот: 2,4–25,5 ГГц
- Frequency range: 2.4–25.5 GHz

Гибкая печатная электроника
Flexible printed electronics

Сенсорная платформа с RFID-меткой на гибкой полимерной основе
Sensor platform with RFID tag on a flexible polymer base
Пищевая безопасность. Контроль температуры и газовыделения при транспортировке пищевых продуктов
Food safety. Control of temperature and gassing during transportation of food products



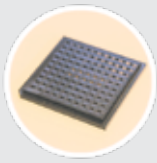
NFC метка на картоне – интеллектуальная упаковка
NFC label on cardboard – intelligent packaging
Фармацевтическая безопасность. Маркировка лекарств и продуктов питания
Pharmaceutical safety. Marking of medicines and food products

ЭКБ для защиты от электромагнитных воздействий
Electronic components for protection against electromagnetic influences

Пластина с кристаллами диодной решетки Si-pin для защитных устройств 8 мм диапазона
Wafer with Si-pin diode array for safety devices of 8 mm range

Диодная решетка Si-pin для защитных устройств 8 мм диапазона
Si-pin diode array for protective devices of 8 mm range

Модуль защитного устройства
Protective device module
Полупроводниковый модуль предназначен для защиты приемных каналов от синхронных и несинхронных помех с уровнем импульсной мощности до 1 кВт. Заменяет газоразрядное защитное устройство 8 мм диапазона
Semiconductor module designed to protect the receiving channels from synchronous and non-synchronous interference with a pulse power level of up to 1 kW. Replaces the 8 mm gas-discharge protective device



Матрица SiC микромеханических ключей
Matrix of SiC micromechanical switches
- Частота коммутируемого сигнала: до 20 ГГц
- Вносимые потери: менее 0,35 дБ (20 ГГц)
- Изоляция: более 27 дБ (20 ГГц)
- Потери на отражение: менее 18 дБ (20 ГГц)
- Время переключения: не более 10 мкс
- Минимальное значение управляющего напряжения: 13 В
- Frequency of the switched signal: up to 20 GHz
- Insertion loss: less than 0.35 dB (20 GHz)
- Isolation: more than 27 dB (20 GHz)
- Loss on reflection: less than 18 dB (20 GHz)
- Switching time: no more than 10 μs
- Minimum control voltage: 13 V

экстремальных режимах эксплуатации за счет использования высоких напряжений, плотности тока, высокоскоростной коммутации.

СОВМЕСТНАЯ ЭКСПОЗИЦИЯ СПбГЭТУ "ЛЭТИ" И ПАО "СВЕТЛАНА" НА МЕЖДУНАРОДНОЙ ВЫСТАВКЕ ChipEXPO-2017

Стратегическое партнерство СПбГЭТУ "ЛЭТИ" и ПАО "Светлана" как результат длительного сотрудничества в области силовой импульсной и высокочастотной электроники, а также вакуумной и рентгеновской электроники было представлено на специализированной совместной экспозиции на XV международной выставке электроники ChipEXPO-2017 (31 октября – 2 ноября, выставочный комплекс "Экспоцентр", Москва).

На совместной экспозиции СПбГЭТУ "ЛЭТИ" и ПАО "Светлана" (рис.4), названной "Стратегическое партнерство", была представлена инновационная отечественная продукция (табл.2).

Фактически впервые были продемонстрированы инновационные разработки, связанные не только с обеспечением оборонно-промышленного комплекса, но и социально-ориентированной сферы, включая микро- и наносистемы для медико-биологической (лаборатория-на-чипе) и пищевой (сенсорная платформа с RFID) безопасности. Особого внимания заслуживают разработки в области электромагнитной и информационной безопасности, а также системы для рекуперации энергии из окружающей среды.

Характеризуя будущие приоритеты в совместных разработках, следует, безусловно, выделить вакуумную и рентгеновскую электронику ввиду значительного прогресса, достигнутого в создании высокоэффективных стабильных автоэмиссионных катодов на основе композиции "карбид кремния – нанокристаллический алмаз" [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный этап решения актуальной для России задачи импортозамещения в сфере высоких технологий, определяющих технологическую независимость и безопасность государства,

и, в частности, применительно к ЭКБ для экстремальных режимов и условий эксплуатации, реализуется в рамках стратегического партнерства СПбГЭТУ "ЛЭТИ" и ПАО "Светлана" в области организации отечественного технологического маршрута изготовления ЭКБ на основе карбида кремния – широкозонного алмазоподобного материала.

Выбор данного направления определяется следующими факторами:

- приоритетностью инновационных разработок в данной области для обеспечения технологической независимости и безопасности государства;
- конкурентными преимуществами СПбГЭТУ "ЛЭТИ" и ПАО "Светлана" как на национальном, так и на международном уровнях в рамках достигнутых и признанных компетенций;
- востребованностью данной наукоемкой продукции и наличием устойчивой финансовой поддержки со стороны государственных заказчиков.

Пример решения задачи импортозамещения в реализации производства ЭКБ на карбиде кремния с использованием стратегического партнерства инновационного вуза, входящего в рамках программы "ТОП5-100" в число ведущих инженерных университетов России, и промышленного высокотехнологичного предприятия с большими традициями отражает современный подход к достижению паритета и превосходства в высокотехнологичных областях за счет концентрации знаний, инфраструктурных ресурсов и профессиональной элиты.

Проект № 03.G25.31.02.43 поддержан Минобрнауки РФ. Постановление правительства РФ № 218 от 9 апреля 2010 года (IX очередь).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лучинин В.В.** Технологии превосходства. Карбид кремния. Научно-технологический статус ЛЭТИ // Нано и микросистемная техника. № 5; 2016. С. 259–271.
2. **Tairov Y., Tsvetkov V.** Investigation of growth process of ingotsof silicon carbide single crystal // J. Crystal Grows, 1978. Vol. 43. Iss 2. P. 209–212.
3. **Афанасьев А.В., Ильин В.А., Лучинин В.В.** Отечественная карбидокремниевая электронная компонентная база – силовой SiC МДП-транзистор // Нано- и микросистемная техника. 2016. № 5. С. 308–315.
4. **Афанасьев А.В., Голубков В.А., Ильин В.А., Лучинин В.В., Пронин В.П., Серков А.В.** Матричные автоэмиссионные катоды на основе карбида кремния с наноструктурированной поверхностью // Нано- и микросистемная техника. 2015. № 12. С. 49–53.

carbide–nanocrystalline diamond" composition [4].

CONCLUSION

The current stage of the solution of the import substitution in the Russian Federation in the sphere of high technologies, which determine the technological independence and security of the state and, in particular, with regard to electronic components for extreme operating conditions, is being implemented within the framework of the strategic partnership of LETI and Svetlana PJSC in the field of organization of the domestic technological route for the manufacture of components based on silicon carbide, a wide-band diamond-like material.

The choice of this area is determined by the following factors:

- priority of innovative developments in this field to ensure technological independence and state security;
- competitive advantages of LETI and Svetlana PJSC both at the national and international levels within the framework of achieved and recognized competencies;
- demand for this science-intensive product and the availability of sustainable financial support from government customers.

An example of solving the import substitution problem in the realization of the production of electronic components on silicon carbide, using the strategic partnership of the innovative higher education institution that is part of the TOP5-100 program among the leading engineering universities of Russia, and of the industrial high-tech enterprise with great traditions, reflects the modern approach to achieving parity and excellence in high-tech areas through to the concentration of knowledge, infrastructure resources and professional elite. ■

Project No. 033.G25.31.02.43 was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation. Decree of the Government of the Russian Federation No. 218 of 09.04.2010 (phase IX).