

# РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ В ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ

Базир Г.И.<sup>1</sup>, Кузина Е.И.<sup>2</sup>, Константинова А.А.<sup>3</sup>

DOI:10.21682/3034-40-50-2024-2-21-24

**Ключевые слова:** микроэлектроника, микроэлектронное производство, автоматизация, новые технологии, полупроводниковые материалы

**Цель работы:** изучение особенностей современного производства изделий микроэлектроники в сфере оборонной промышленности. Рассмотрение потенциала и роли микроэлектронной индустрии в современном технологическом укладе, актуальных проблем, которые возникают при проектировании и производстве изделий микроэлектроники

**Метод исследования:** использованы аналитический, синтетический, индуктивный и дедуктивный методы обработки тематических исследований, научных публикаций и релевантных литературных источников.

**Результаты:** проведен сравнительный анализ тенденций развития современной микроэлектроники и ее внедрения в оборонную промышленность Российской Федерации (РФ) с учетом опыта специальной военной операции.

**Практическая ценность:** на основе сравнительного анализа определены перспективные направления развития микроэлектроники в оборонной промышленности РФ.

## Введение

Электронная промышленность является наиважнейшей для современных систем связи и навигации отраслью. Она обеспечивает компонентной базой области деятельности подразделений министерства обороны (МО) РФ как в мирное время, так и, в случае возникновения ситуаций военных конфликтов, где присутствует техническая коммуникация.

Аппаратура на основе изделий микроэлектроники широко используется в современных военных операциях, в связи с этим она выступает мощным индикатором технологического развития ВС РФ [1]. Изделия микроэлектроники позволяют проектировать и производить в промышленных масштабах функционально сложное оборудование. Микроэлектронное производство стремится к размерному масштабированию до топологий 14, 10 и 7 нм и менее и развитию элементной базы в направлениях функционального усложнения, увеличения надёжности, сокращения размеров, массы, потребляемой энергии стоимости

## Актуальность проблемы

В настоящее время процесс масштабирования высокоточных микроэлектронных изделий вошёл в фазу «замедления», совершенствования текущего производственного процесса и развития

методов 2,5D- и 3D-интеграции [2]. В микроэлектронном производстве возникла тенденция к сокращению компонентных издержек и увеличению уровня интеграции при параллельном продолжении использования 28-нм технологического уровня. Инновационное развитие микроэлектроники определяют факторы увеличения плотности расположения элементов и площади кристалла, интеллектуальности приборов и эффективности производства, обеспечиваемой за счёт использования новейшего техно-логического оборудования.

Микроэлектроника определяет производительность любого современного высоко-точного оборудования и ориентируется на выпуск продуктов с высокой добавленной стоимостью, доля интеллектуальной составляющей в которых достигает 80% [3]. Это определяет роль микроэлектронной индустрии в современном технологическом укладе и актуализирует необходимость увеличения темпов её развития. В настоящее время в Российской микроэлектронике преобладает продукция военного назначения — на неё приходится порядка 80% производимых изделий. Для гражданского использования в стране производятся интегральные микросхемы и основные электронные компоненты.

<sup>1</sup>Базир Геннадий Иванович, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент 2 кафедры Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: gennadiy.bazir@gmail.com

<sup>2</sup>Кузина Екатерина Ивановна, преподаватель 2 кафедры Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: 78\_kuzik@mail.ru

<sup>3</sup>Константинова Анна Алексеевна, кандидат технических наук, старший преподаватель 2 кафедры Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: konstantinova.a.a@mail.ru



Рис. 1. Автоматизированные системы связи и навигации

Такое положение не всегда положительно сказывается на развитии отрасли, по-этому руководство страны поставило перед предприятиями оборонно-промышленного комплекса задачу наращивания также и доли гражданской продукции [4]. Однако для предприятий, в структуре производства которых доля гражданской продукции не превышает 10%, самостоятельный выход на рынок высокотехнологичной гражданской продукции проблематичен в силу неготовности производственных мощностей к выпуску таких изделий и отсутствия конструкторских, административно-управленческих и маркетинговых компетенций по организации производства и выводу товаров на гражданский рынок.

Переход на выпуск изделий двойного и гражданского применения позволит обеспечить загрузку производственных мощностей, однако для этого предприятиям необходимо оптимизировать производственный цикл, разработав и освоив комплексную автоматизированную линию сборки полупроводниковых приборов и интегральных микросхем двойного применения в металлопластмассовых корпусах. При этом остальные этапы производства — разработка электронной компонентной базы, создание фотошаблонов, производство кристаллов, сборка, измерения и все виды испытаний — не требуют изменений.

Помимо переориентации предприятий оборонно-промышленного комплекса, к первоочередным задачам развития отечественных микроэлектронных производств относятся [5]:

- запуск на имеющихся производствах новых технологий, таких как BCD, FRAM (MRAM), микроболометры, SiGe, DRAM и EEPROM;
- развитие на существующих микроэлектронных производствах технологий и правил проектирования для создания высоковольтных и аналоговых микросхем, Flip Chip кристаллов и

специальных ПЛИС;

- запуск полномасштабного производства пластин по технологиям кремния на изоляторе и объемного кремния;
- запуск производства 300-мм пластин по технологии 28 нм и менее;
- расширение существенного производства фотошаблонов и запуск производства фотошаблонов уровнем технологии 90 нм и менее;
- освоение серийного производства кремниевых пластин и пластин кремния на изоляторе диаметром 200 мм.

Повысить эффективность микроэлектронного производства возможно путём автоматизации и механизации процессов на всех фазах производственного цикла [6]:

1. Заготовительная. Включает изготовление и разрезание слитков на пластины, подготовку оснастки и инструментов и производство корпусов.
2. Обрабатывающая. Предназначена для получения интегральных структур в полупроводниковом материале либо на его поверхности.
3. Сборочно-контрольная. Включает разделение пластин на кристаллы, сборку схем в корпус, герметизацию, контроль качества изделий и различные испытания.

Основные характеристики изделий микроэлектроники формируются в обрабатывающей фазе, поэтому в ней предъявляются наиболее высокие требования к стабильности, точности и условиям выполнения технологических процессов. Для их обеспечения современное оборудование микроэлектронных производств полностью компьютеризируется, что позволяет практически полностью исключить вероятность ошибок операторов и снизить влияние человеческого фактора [7]. Программа технологического процесса включает всю необходимую последовательность манипуляций по обработке подложек. При этом в программу можно вносить изменения, адаптируя производство под конкретные заказы.

Однако автоматизации и механизации процессов недостаточно для развития конкурентного микроэлектронного производства: для обеспечения глубоких качественных изменений в производительных силах, создания принципиально новых видов продукции и технологий требуется интенсивное расширение и развитие исследований в области естественных и технических наук [8]. В частности, исследователям необходимо решить ряд проблем, возникающих при проектировании и производстве изделий микроэлектроники:

- проблема межсоединений, заключающаяся

в необходимости обеспечения коммутации между огромным количеством элементов микросхемы;

- проблема теплоотвода, заключающаяся в увеличении удельной мощности, рассеиваемой единицей поверхности подложки, при уменьшении размеров элементов и расстояния между ними;
- проблема уменьшения размеров элементов интегральных схем и увеличения площади обрабатываемых подложек;
- проблема дефектов подложки, возникающих при интеграции кристаллов больших размеров;
- проблема контроля параметров компонентов.

Другая актуальная проблема микроэлектроники — это возрастающая потребность в поиске и применении новых полупроводниковых материалов, превосходящих доминирующих в настоящее время кремний по ряду электрофизических свойств [9]. Наиболее перспективными полупроводниковыми материалами являются карбид кремния (SiC), нитрид галлия (GaN), оксид галлия (Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), алмаз и нитрид алюминия (AlN).

Значимой проблемой в контексте импортозамещения микроэлектронного производства является обеспечение безопасности продукции [10]. Поскольку практически на любом этапе создания в микросхемы, возможно, внедрить ап-

паратный «троян» — вирус, могущий выполнять несанкционированные и скрытые от наблюдателя функции.

Одним из ключевых направлений развития отечественного производства изделий микроэлектроники должно являться обеспечение безопасности и качества производимых изделий, что требует внедрения комплекса нормативно-технических мероприятий по противодействию возможным угрозам.

### **Заключение**

Таким образом, новейшая микроэлектроника в интересах оборонно-промышленного комплекса является одной из наиболее динамично развивающихся областей промышленности, следующий этап развития которой сопряжён с использованием квантовых эффектов. Для их применения технологическое оборудование микроэлектронного производства должно основываться на передовых научно-технических достижениях в первую очередь в военных научно-исследовательских центрах и институтах, быть автоматизированным и работать в составе адаптивных робототехнических комплексов. Ключевое значение для производства изделий микроэлектроники имеет качество выпускаемой продукции, повышение которого напрямую связано с экономическим благополучием отечественных предприятий и обороноспособностью нашего государства в условиях современного мира.

### **Литература:**

1. Малькова Н.Ю., Петрова М.Д., Кирьянова М.Н. Условия труда и функциональное состояние органа зрения работающих в современном производстве изделий микроэлектроники // Гигиена и санитария. 2020. № 99 (6). – С. 591–596.
2. Инновационные технологии и оборудование субмикронной электроники / А.П. Достанко [и др.]; под ред. акад. НАН Беларуси А.П. Достанко. – Минск: Белорусская наука, 2020. – 263 с. ISBN: 978-985-08-2521-6
3. Сиротин Д.В. Состояние и возможности развития российской микроэлектронной отрасли // Экономическое возрождение России. – 2021. – № 3 (69). – С. 105–122.
4. Белоусова Н.Н., Плис Н.И. Проблемы диверсификации производства на предприятиях оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации: на примере микроэлектроники // Экономические и социально-гуманитарные исследования. – 2019. – № 3 (23). – С. 14–21.
5. Эннс В. Меры по развитию отечественной микроэлектроники в современных условиях // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2022. – № 6 (217). – С. 86–93. – DOI: 10.22184/1992-4178.2022.217.6.86.92
6. Алмаметов В.Б. Современные проблемы развития микроэлектроники / В.Б. Алмаметов // Труды международного симпозиума «Надёжность и качество». – 2020. – Т. 1. – С. 17–19.
7. Демидов А.А., Рыбалка С.Б. Современные и перспективные полупроводниковые материалы для микроэлектроники следующего десятилетия (2020-2030 гг.) // Прикладная математика 2021. № 53 – С. 53–72.
8. Белоус А., Солoduха В. Основные тенденции развития, проблемы и угрозы современной микроэлектроники // Компоненты и технологии. 2029. № 10. С. 6–14.
9. Болсынов М.Ы. Особенности современного производства изделий микроэлектроники // Аллея науки. 2023. Т. 1. № 7 (82). С. 546–551.
10. Кирпичников А.П., Васильев С.Н. Особенности современной микроэлектроники и вопросы построения систем управления высокой надёжности и безопасности // Надёжность. 2017. Т. 17. № 3 (62). С. 10–16.

# MODERN DEVELOPMENT MICROELECTRONICS IN DEFENSIVE INDUSTRY OF RUSSIA

*Bazir G.I.<sup>1</sup>, Kuzina E.I.<sup>2</sup>, Konstantinova A.A.<sup>3</sup>*

**Keywords:** *microelectronics, microelectronics manufacturing, automation, new technologies, sem-conductor materials.*

## **Abstract:**

**Objective:** *to study the peculiarities of modern production of microelectronics products in the sphere of defense industry. To achieve it, analytical, synthetic, inductive and deductive methods of pro-processing case studies, scientific publications and relevant literary sources were used.*

**Research method:** *analysis of the peculiarities of modern production of microelectronics products at the enterprises of the defense-industrial complex and identification of the direction of microelectronics development in the Russian Federation. Consideration of the potential and role of the microelectronics industry in the modern technological mode, actual problems that arise in the design and manufacture of microelectronics products.*

**Results:** *a comparative analysis of trends in the development of modern microelectronics and its implementation in the defense industry of the Russian Federation (RF) was carried out, taking into account the experience of a special military operation*

**Practical value:** *on the basis of comparative analysis the perspective directions of microelectronics development in the defense industry of the Russian Federation are determined.*

## References

1. Mal'kova N.Ju., Petrova M.D., Kir'janova M.N. Usloviya truda i funkcional'-noe sos-tojanie organa zrenija rabotajushchih v sovremennom proizvodstve izdelij mikrojelektroniki // Gigiena i sanitarija. 2020. № 99 (6). – S. 591–596.
2. Innovacionnye tehnologii i oborudovanie submikronnoj jelektroniki / A.P. Dostanko [i dr.]; pod red. akad. NAN Belarusi A.P. Dostanko. – Minsk: Belorusskaja nauka, 2020. – 263 s. ISBN: 978-985-08-2521-6
3. Sirotin D.V. Sostojanie i vozmozhnosti razvitija rossijskoj mikrojelektronnoj otrasli // Jekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii. – 2021. – № 3 (69). – S. 105–122.
4. Belousova N.N., Plis N.I. Problemy diversifikacii proizvodstva na pred-prijatijah obo-ronno-promyshlennogo kompleksa Rossijskoj Federacii: na primere mikro-jelektroniki // Jekonomicheskije i social'no-gumanitarnye issledovanija. – 2019. – № 3 (23). – S. 14–21.
5. Jenns V. Mery po razvitiju otechestvennoj mikrojelektroniki v sovremennyh uslovijah // Jelektronika: Nauka, tehnologija, biznes. – 2022. – № 6 (217). – S. 86–93. – DOI: 10.22184/1992-4178.2022.217.6.86.92
6. Almametov V.B. Sovremennye problemy razvitija mikrojelektroniki / V.B. Almametov // Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadjozhnost' i kachestvo». – 2020. – T. 1. – S. 17–19.
7. Demidov A.A., Rybalka S.B. Sovremennye i perspektivnye poluprovodniko-vye materi-aly dlja mikrojelektroniki sledujushhego desjatiletija (2020-2030 gg.) // Prikladnaja matematika 2021. № 53 – S. 53–72.
8. Belous A., Soloduha V. Osnovnye tendencii razvitija, problemy i ugrozy so-vremennoj mikrojelektroniki // Komponenty i tehnologii. 2029. № 10. S. 6–14.
9. Bolsynov M.Y. Osobennosti sovremennogo proizvodstva izdelij mikrojelektroniki // AI-leja nauki. 2023. T. 1. № 7 (82). S. 546–551.
10. Kirpichnikov A.P., Vasil'ev S.N. Osobennosti sovremennoj mikrojelektroniki i voprosy postroenija sistem upravlenija vysokoj nadezhnosti i bezopasnosti // Nadezhnost'. 2017. T. 17. № 3 (62). S. 10–16.

<sup>1</sup>Gennady I. Bazir, Ph.D. (in Math.), Associate Professor, Associate Professor of the 2nd Department of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: gennadiy.bazir@gmail.com

<sup>2</sup>Ekaterina I. Kuzina, Lecturer of the 2nd Department of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: 78\_kuzik@mail.ru

<sup>3</sup>Anna A. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the 2nd Department of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: konstantinova.a.a@mail.ru

