



КОМПЛЕКС ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ
И ИМУЩЕСТВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ
ПРАВИТЕЛЬСТВА МОСКВЫ



ДЕПАРТАМЕНТ ИНВЕСТИЦИОННОЙ
И ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ
ГОРОДА МОСКВЫ

АПР

АГЕНТСТВО
ПРОМЫШЛЕННОГО
РАЗВИТИЯ МОСКВЫ

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Состояние и перспективы развития в Москве

Содержание

Основные термины и определения.....4-5
Сокращения.....5

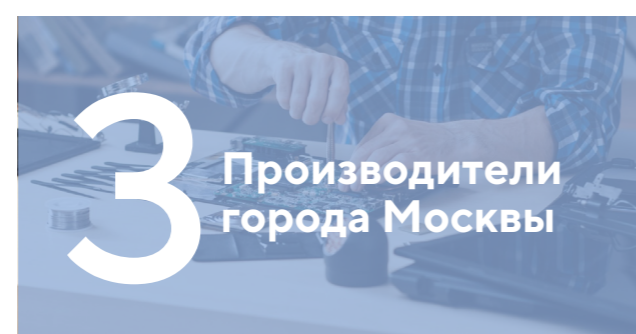


Паспорт отрасли в 2020 году.....6

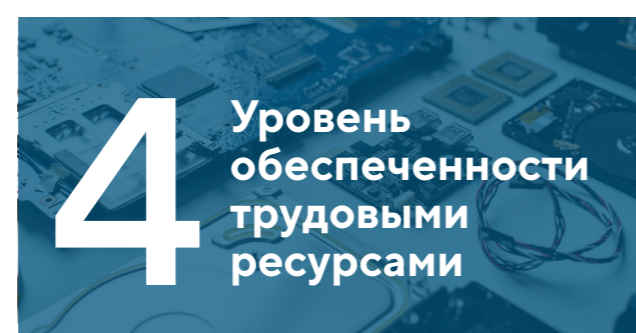


2.1. Идентификация отрасли.....8-9
2.2. Классификация продукции отрасли.....10-13
2.3. Баланс отраслевого рынка.....14-15
2.3.1. Рынок Москвы.....14
2.3.2. Рынок РФ.....15
2.4. Анализ объемов производства.....16-18
2.4.1. Место микроэлектроники в промышленности Москвы.....16
2.4.2. Динамика отгрузок продукции.....17-18
2.5. Инвестиции в основной капитал.....19
2.6. Анализ структуры импорта и экспорта Москвы.....20
2.6.1. Импорт.....20-21
2.6.2. Экспорт.....22-23
2.7. Анализ государственных закупок Москвы.....23-25

2.7.1. Крупнейшие заказчики.....23-24
2.7.2. Структура закупок.....25-27
2.8. Планы развития и поддержки отрасли.....25-27
2.8.1. Предпосылки поддержки отрасли.....25-26
2.8.2. Направления поддержки отрасли.....26-27

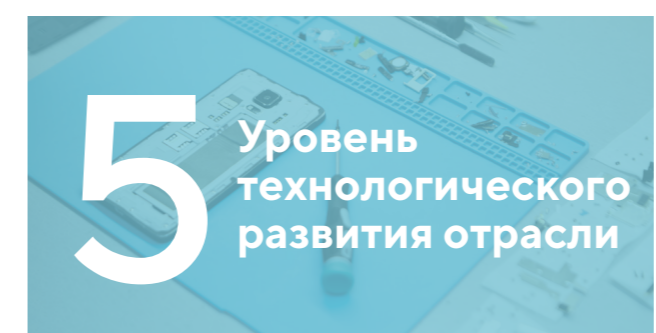


3.1. Основные производители и номенклатура продукции.....28-31
3.2. Локализация предприятий отрасли в Москве.....32-33
3.2.1. Резиденты технопарков.....32
3.2.2. Промышленные комплексы.....32
3.2.3. Резиденты ОЭЗ.....33
3.3. Современные и исторические достижения московской промышленности.....33-34

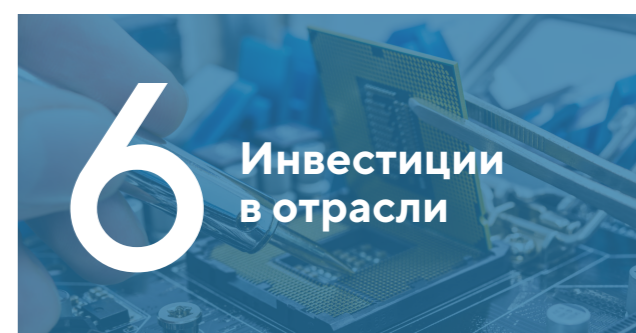


4.1. Анализ численности сотрудников и средней заработной платы.....35
4.2. Основные центры компетенций по подготовке кадров.....36-37

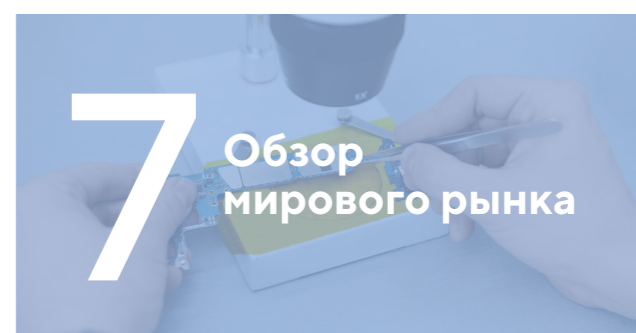
4.2.1. По подготовке кадров в средних и высших образовательных учреждениях.....36
4.2.2. По повышению квалификации исследовательских, инженерных и технических кадров для отрасли.....37
4.3. Анализ практики взаимодействия образовательных учреждений и производственных предприятий в части подготовки кадров и улучшения образовательных программ.....37-38



5.1. Основные технологические цепочки.....39-46
5.2. Направления сбыта продукции московских предприятий.....47-53
5.3. Тенденции развития технологий в отрасли.....54-57
5.3.1. Новые материалы.....54
5.3.2. Перспективные технологии и разработки.....54-57
5.4. Оценка уровня технологического развития отрасли.....57-60
5.4.1. Размерность технологического процесса.....57-58
5.4.2. Оснащение производства.....58-60
5.4.3. Подходы к проектированию.....60



6.1. Обзор инвестиционных проектов в Москве и РФ.....61-63
6.2. Инвестиционные ниши.....64



7.1. Объемы мирового производства.....65-66
7.2. Крупнейшие мировые игроки.....67-68
7.3. Тенденции развития рынка микросхем.....69
7.4. Мировой импорт и мировой экспорт.....69-71
Приложения.....72-77

Основные термины и определения

IGBT (АНГЛ. INSULATED-GATE BIPOLAR TRANSISTOR)

Биполярный транзистор с изолированным затвором – это трёхэлектродный силовой полупроводниковый прибор, который сочетает два транзистора в одной полупроводниковой структуре биполярный, который образует силовой канал, и полевой. Используется как электронный ключ в импульсных источниках питания, инверторах, в системах управления электрическими приводами, который образует канал управления.

PDK (АНГЛ. PROCESS DESIGN KIT)

Правила проектирования и инструменты проектирования.

P-N-ПЕРЕХОД

Электрические переходы между областями полупроводника с различными видами проводимости называются электронно-дырочными или p-n-переходами.

VCSEL (АНГЛ. VERTICAL CAVITY SURFACE EMITTING LASER)

Вертикально-излучающие лазеры или поверхностно-излучающий лазер с вертикальным резонатором. Представляют собой разновидность диодного полупроводникового лазера, излучающего свет в направлении, перпендикулярном поверхности кристалла, в отличие от обычных лазерных диодов, излучающих в плоскости, параллельной поверхности.

БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

Совокупность двух включенных «навстречу» взаимодействующих p-n-переходов.

ГИБРИДНАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА

Интегральная микросхема, содержащая кроме элементов компоненты и кристаллы.

ГМИКРОСХЕМЫ

Гибридная интегральная микросхема.

ДИОД ШОТТКИ

Полупроводниковый диод с малым падением напряжения при прямом включении. Назван в честь немецкого физика Вальтера Шоттки.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА

Микроэлектронное устройство, электронная схема произвольной сложности, изготовленная на полупроводниковом кристалле (или плёнке).

Под интегральной схемой (ИС) понимают собственно кристалл или плёнку с электронной схемой.

КОМПОНЕНТ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ

Часть интегральной микросхемы, реализующая функцию какого-либо электрорадиоэлемента. Может быть выделен как самостоятельное

изделие с точки зрения требований к испытаниям, приёмке и эксплуатации.

КРИСТАЛЛ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ

Часть полупроводниковой пластины, в объёме и на поверхности которой сформированы элементы полупроводниковой интегральной микросхемы, межэлементные соединения и контактные площадки.

ЛИНИЯ ПЕРЕДАЧИ

Элемент электронного устройства, с помощью которого электромагнитная энергия передаётся из одной области пространства в другую.

МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИЯ

Реализация электронных схем, блоков, узлов и аппаратуры в целом из микроминиатюрных радиодеталей и узлов.

МИКРОСХЕМЫ

Интегральная микросхема, заключенная в корпус (чип).

МОНОКРИСТАЛЛ

Однородный кристалл, который имеет по всему объёму единую кристаллическую структуру и зависимость физических свойств от кристаллографического направления, то есть анизотропию.

ПЕРИФЕРИЯ SOC

совокупность устройств и интерфейсов для ввода/вывода, выполняющие функции и производящие регистрацию и обработку информации самостоятельно, без участия процессора. Процессор в данном случае получает уже готовую информацию для обработки и выдачи результата.

К таким устройствам относят GPU, модемы связи, северный мост (устройство обработки интерфейсов между процессором и другими компонентами на SoC), южный мост (устройство обработки интерфейсов ввода/вывода вне SoC, например, аудио, USB, HDMI, SPI, I2C и т.д.).

ПЛАТА ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ

Часть подложки гибридной интегральной микросхемы, на поверхности которой нанесены плёночные элементы микросхемы, межэлементные и межкомпонентные соединения, а также контактные площадки.

ПЛЁНОЧНАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА

Интегральная микросхема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены в виде плёнок.

ПОДЛОЖКА ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ

Заготовка, предназначенная для нанесения на неё элементов гибридных и плёночных интегральных микросхем, межэлементных и межкомпонентных соединений, а также контактных площадок.

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА

Интегральная микросхема, все элементы и межэлементные соединения

которой выполнены в объёме и на поверхности полупроводника.

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ ПЛАСТИНА

Заготовка из полупроводникового материала, используемая для изготовления полупроводниковой интегральной микросхемы.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Электропреобразовательный прибор с двумя выводами. Содержит полупроводник с одним электрическим переходом и омическими контактами к областям полупроводника, формирующим этот переход.

СТАБИЛИТРОН (ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ)

Также диод Зенера. Основное назначение стабилитронов – стабилизация напряжения. Представляет собой полупроводниковый диод, работающий при обратном смещении в режиме пробоя. До наступления пробоя через стабилитрон протекают незначительные токи утечки, а его сопротивление весьма высоко. При наступлении пробоя ток через стабилитрон резко возрастает, а его дифференциальное сопротивление падает до величины, составляющей для различных приборов от долей Ома до сотен Ом. Поэтому в режиме пробоя напряжение на стабилитроне поддерживается с заданной точностью в широком диапазоне обратных токов.

ТРАНЗИСТОР (ОТ АНГЛ. TRANSFER OF RESISTOR – ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ)

Трёхэлектродные полупроводниковые приборы с одним или двумя переходами, которые усиливают мощность электрических сигналов.

УНИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

Полупроводниковые приборы, в которых управление током осуществляется изменением проводимости токопроводящего канала в результате воздействия поперечного электрического поля. Их работа основана на использовании основных носителей одного типа.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ

Основная масса дискретных полупроводниковых приборов, основных элементов интегральных схем, оптоэлектронных приборов и устройств других типов представляют собой неоднородные структуры.

При контакте двух полупроводников с различными электрофизическими параметрами или полупроводников с металлами и диэлектриками в пограничных контактных слоях возникают электрические потенциальные барьеры, и концентрации носителей заряда внутри этих слоёв могут сильно изменяться по сравнению с их значениями в объёме.

Эти контактные слои называют электрическими переходами.

ЭЛЕМЕНТ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Часть интегральной микросхемы, которая реализует функцию какого-либо электрорадиоэлемента и выполнена нераздельно от кристалла или подложки. Не может быть выделен как самостоятельное изделие с точки зрения требований к испытаниям, приёмке, поставке и эксплуатации.

СОКРАЩЕНИЯ

БИС

Большие интегральные микросхемы

ЛВЖ

Легковоспламеняющиеся жидкости

МДП

Металл-диэлектрик-полупроводник

МОП

Металл-оксид-полупроводник

МЭМС

Микроэлектромеханические системы

НЭМС

Нанозлектромеханические системы

ПЛИС

Программируемые логические интегральные схемы

РЭС

Радиоэлектронные средства

САПР

Системы автоматизированного проектирования

ТУ

Технические условия

ЭВА

Электронно-вычислительная аппаратура

ЭВМ

Электронно-вычислительная машина

1 Паспорт отрасли в 2020 году

ПРОИЗВОДСТВО



20,7 млрд.руб.
(+4,68%)

Объем отгруженной
продукции

0,35 %
(+0.01 п.п.)

Доля по отгрузкам в обрабатывающей
промышленности Москвы

8,2 %
(+1.5 п.п.)

Доля по отгрузкам
в радиоэлектронной
промышленности
Москвы

КАДРЫ



6 153 чел.
(+4,9%)

Среднесписочная численность
сотрудников предприятий

77 087 руб.
Среднемесячная
зарплата
в 2019 году

ИНВЕСТИЦИИ



5,2 млрд.руб.
(+20%)

Оценочный объем инвестиций
в основной капитал за 3 кв. 2020 года

ВЭД
(за 11 месяцев
2020 года)



2 млрд. руб.
(+4,5%)

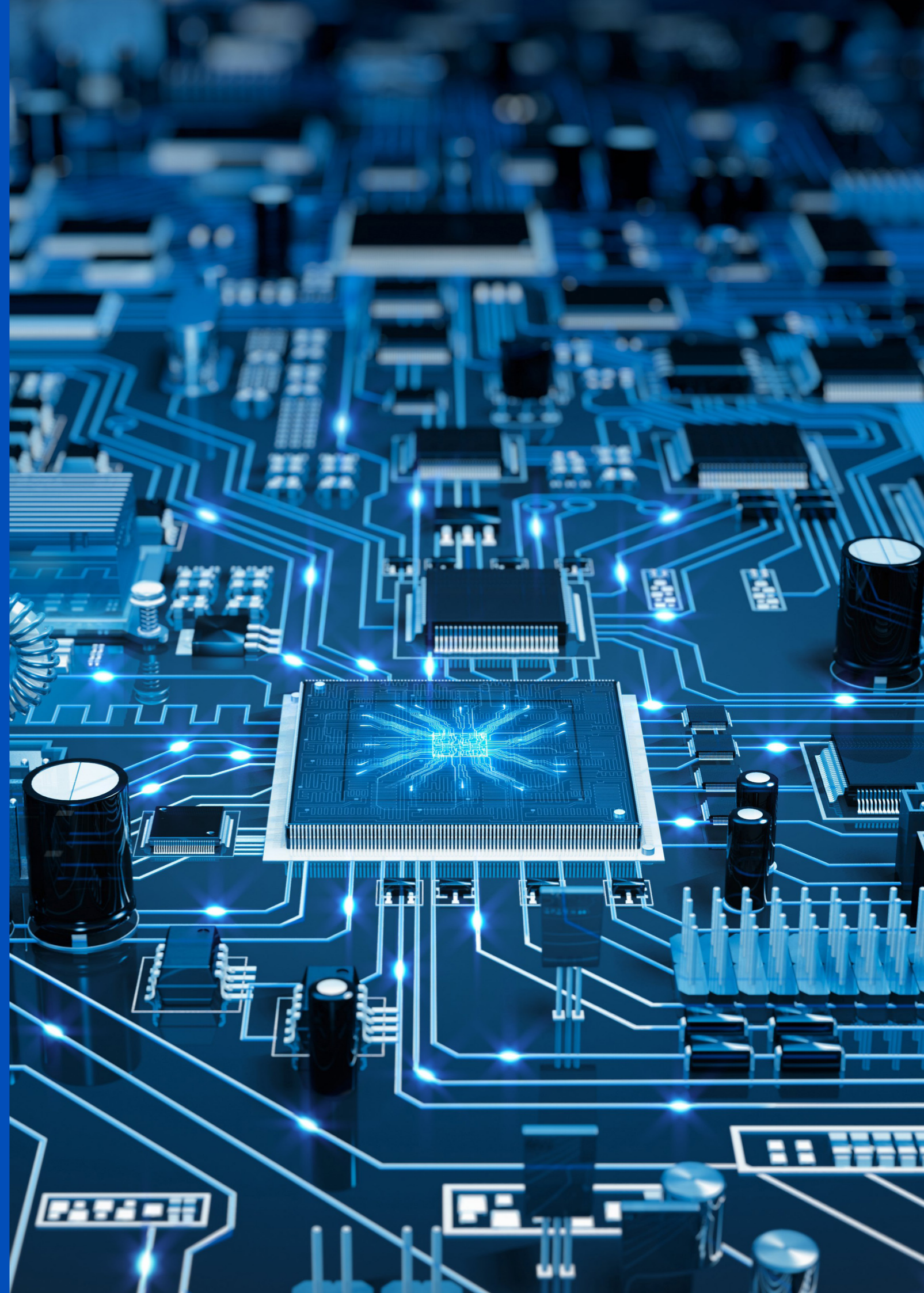
Экспорт Москвы

19,6 %
Доля экспорта Москвы
в экспорте РФ

41,9 млрд.руб.
(+29%)

Импорт Москвы

41,5 %
Доля импорта Москвы
в импорте РФ

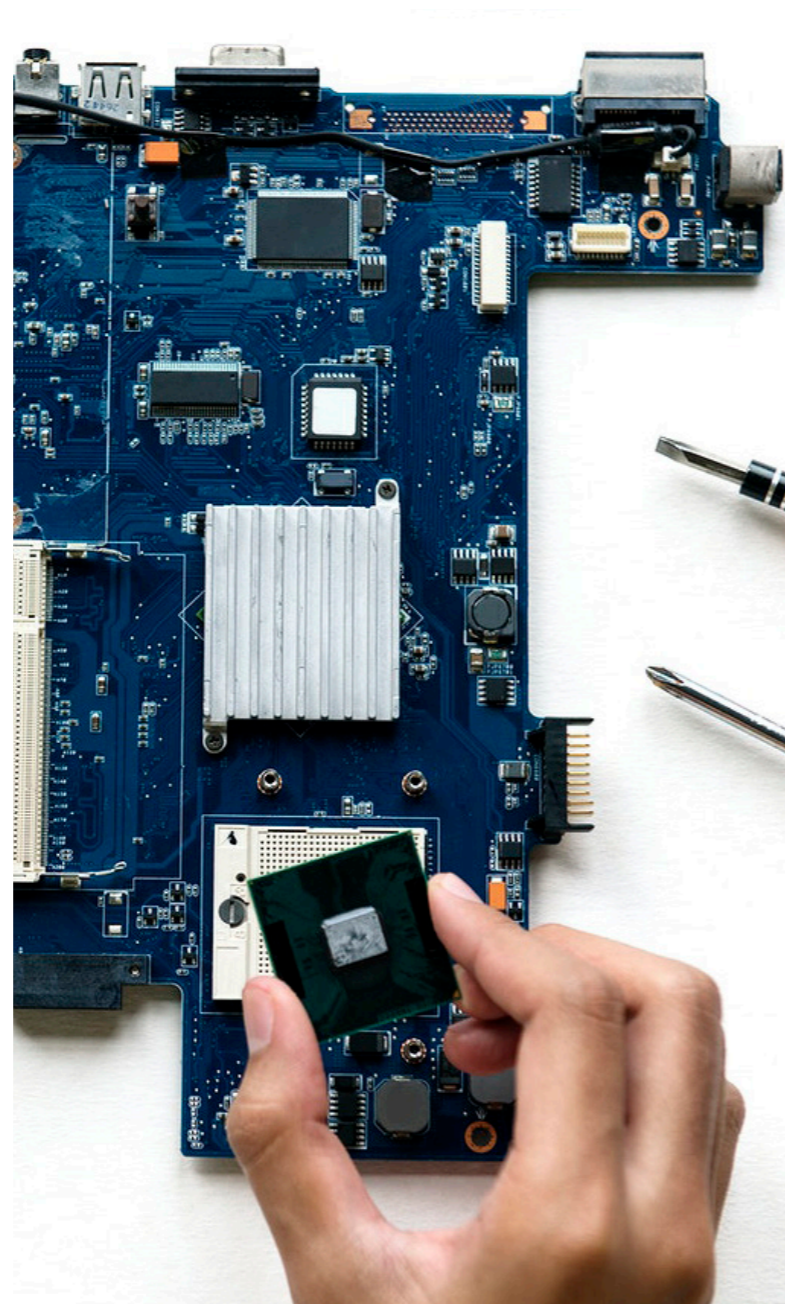


2 Общие сведения

2.1. Идентификация отрасли

Микроэлектроника — подраздел электроники, связанный с изучением и производством электронных компонентов с геометрическими размерами характерных элементов порядка нескольких микрон и меньше.

В экономической статистике микроэлектроника является сегментом радиоэлектроники, предприятия которого осуществляют деятельность с кодом ОКВЭД2 26.11 «Производство элементов электронной аппаратуры». Предприятия данного сегмента осуществляют производство микросхем памяти, процессоров, микроконтроллеров, резисторов, конденсаторов, систем на кристалле, микромеханических систем, компонентов СВЧ и прочих микросхем.



Радиоэлектроника¹

26 Производство компьютеров, электронных и оптических изделий (за исключением 26.7 «Производство оптических приборов, фото- и кинооборудования»)

Микроэлектроника

26.11 Производство элементов электронной аппаратуры

27.4 Производство электрических ламп и осветительного оборудования

27.51 Производство бытовых электрических приборов

27.9 Производство прочего электрического оборудования

28.23 Производство офисной техники и оборудования (кроме компьютеров и периферийного оборудования)

Рисунок 1. Перечень кодов ОКВЭД2 радиоэлектроники и микроэлектроники
Источник: Минпромторг РФ, анализ ГБУ «АПР»

¹ Классификация Министерства промышленности и торговли РФ

2.2. Классификация продукции отрасли

Микроэлектроника является первым звеном технологической цепочки радиоэлектронной промышленности.

Производство микроэлектроники (компоненты) используется для производства плат и частей оборудования, которые в дальнейшем используются при производстве готового оборудования.



Рисунок 2. Классификация продукции радиоэлектронной и микроэлектронной промышленности
Источник: анализ ГБУ «АПР»

Производство (компоненты) микроэлектроники представлены следующими основными группами.

1. Микросхемы памяти

Представляют собой интегральные схемы с установленными транзисторами, резисторами и конденсаторами, которые сформированы на каждой отдельной микросхеме.

2. Процессоры и микроконтроллеры

Интегральные микросхемы, исполняющие машинные инструкции или программный код программ. Основное отличие микроконтроллеров от процессоров заключается в наличии в одном корпусе процессора, оперативной памяти, энергонезависимой постоянной памяти и периферийных интерфейсов.

3. Пассивные компоненты

К пассивным относятся устройства, которые предназначены для перераспределения электрической энергии:

- резисторы;
 - конденсаторы;
 - катушки индуктивности;
 - трансформаторы;
 - коммутационные элементы.
- Пассивные компоненты являются самыми распространенными изделиями электронной промышленности

и составляют до 50% всех элементов принципиальной схемы.

4. SOC (системы на кристалле)

Системы на кристалле в отличие от микроконтроллеров содержат высокопроизводительное процессорное ядро способное работать с большими операционными системами, а также имеют на одной подложке с ядром большой набор периферии. Это обусловлено тем, что рынок предъявляет всё новые требования к электронным продуктам по функциональным и по техническим параметрам. Поэтому современные электронные устройства должны иметь]:

- уникальный набор функций;
- развитый пользовательский интерфейс;
- высокую производительность базовой платформы, позволяющую модернизировать устройство;
- встраиваемую операционную систему;
- низкое энергопотребление;
- встраиваемые цветные ЖК-дисплеи с высоким разрешением;
- возможность подключения к сети Ethernet, в том числе и с использованием PoE;
- возможность хранения больших объёмов данных в энергонезависимой памяти и на внешних носителях;

- полный набор стандартизованных проводных и беспроводных интерфейсов.

Системы на кристалле оснащаются следующими интерфейсами и контроллерами:

- системные шины и контроллеры шин LPC/ISA, PCI, PCMCIA;
- контроллеры управления NOR/NAND Flash, SDRAM, SRAM, DDR;
- контроллер Ethernet;
- последовательные интерфейсы UART, SPI/SSP/uWire, RS-232, RS-422/485, CAN;
- беспроводные интерфейсы WiFi/IEEE802.11, ZigBee, Bluetooth, IrDA;
- интерфейсы Flash-карт памяти SD/MMC, CompactFlash и Memory-Stick;
- контроллер ЖКИ (STN/TFT/OLED);
- контроллер матричной клавиатуры;
- модули беспроводной передачи данных GSM/GPRS, CDMA;
- модули приёма сигналов спутниковых навигационных систем GPS и Glonass;
- аппаратная поддержка вычислений с плавающей точкой, шифрования, DRM;
- интерфейсы для звуковых и видеосигналов.

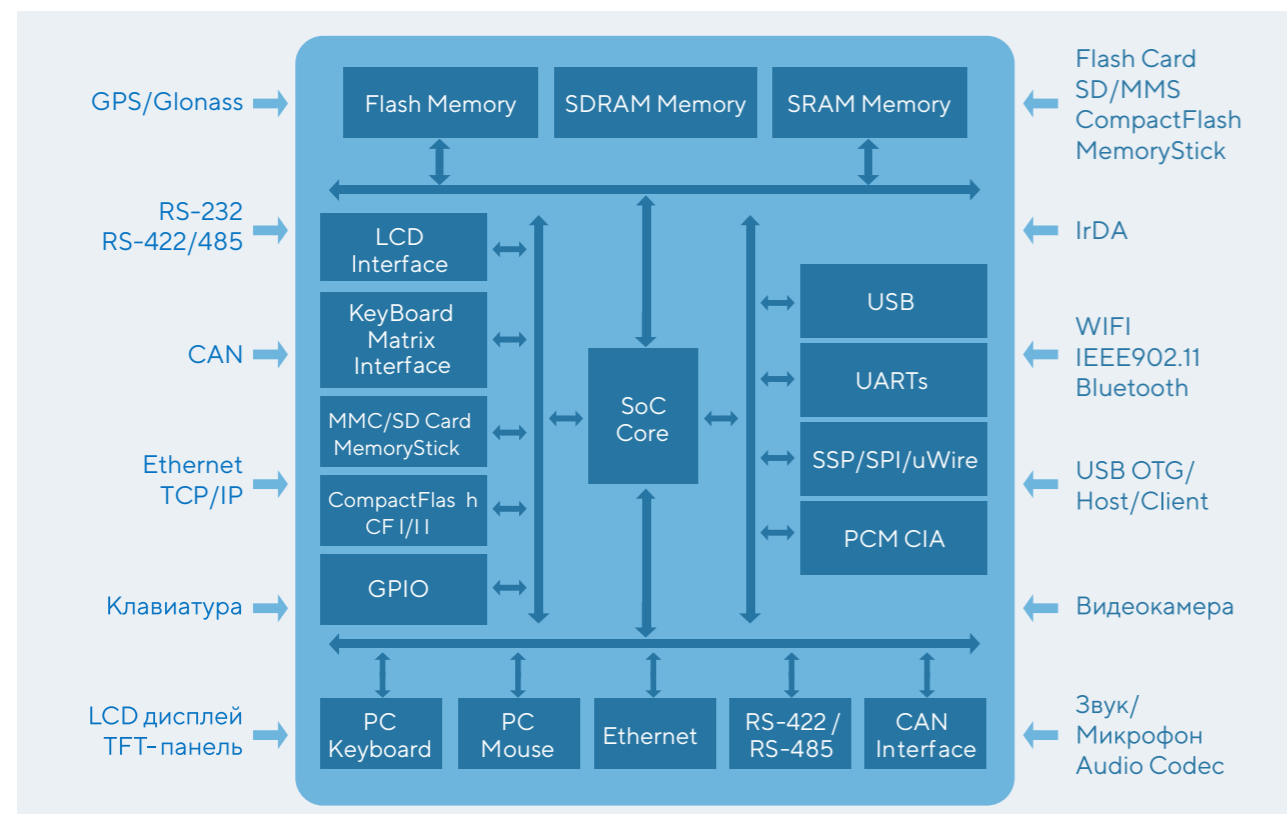


Рисунок 3. Пример системы на кристалле

5. МЭМС (микроэлектромеханические системы)

Термин МЭМС относится к технологии, которая позволила миниатюризировать механические структуры и интегрировать их в электронные схемы. В результате этого образовались устройства, которые правильнее называть «системами», поскольку в них механические компоненты и электрические элементы работают совместно и решают общие задачи.

Структура МЭМС производится методом физической модификации кремния или другого материала подложки. Затем такие структуры объединяют с микросхемой и монтируют в корпус. МЭМС устройства могут состоять из микромашиных структур,

микродатчиков, микроэлектронных схем и микроактуаторов. Все они интегрированы на одном кристалле или подложке корпуса. Датчики позволяют устройствам определять термические, механические, магнитные, электромагнитные или химические изменения, которые могут быть преобразованы электрической схемой в сигнал, а актуаторы обеспечивают не только измерение, но и физические перемещения].

6. СВЧ² компоненты (сверхвысокие частоты)

СВЧ интегральные схемы это вакуумные интегральные схемы, построенные на основе миниатюрных электровакуумных СВЧ приборов. В интегральных схемах СВЧ диапа-

зона различают элементы с распределёнными и сосредоточенными параметрами. На частотах выше 10 ГГц применяют СВЧ элементы с распределёнными параметрами из-за того, что на таких частотах элементы с сосредоточенными параметрами имеют высокие потери. Основу линий передачи в диапазонах СВЧ составляют комбинации из проводников и диэлектриков, а сами линии передачи могут быть двухпроводными, коаксиальными, полосковыми, волноводными, микрополосковыми, световодными. В микроэлектронике СВЧ применяют несимметричные³ микрополосковые линии передачи. При проектировании микроэлектронных компонентов, которые работают в СВЧ диапазоне, исполь-

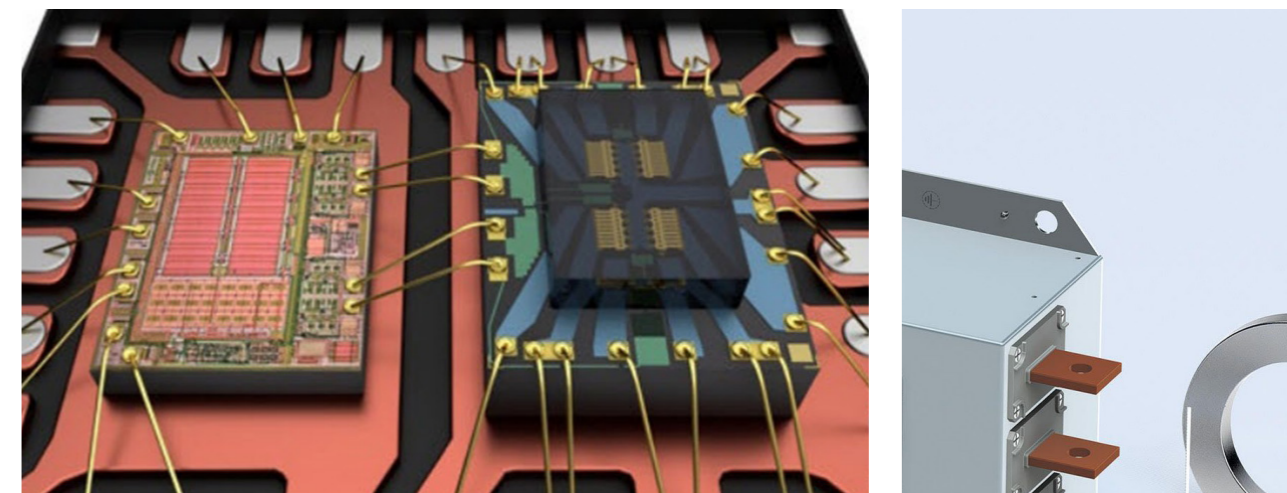


Рисунок 4. Пример МЭМС (слева драйвер управления, справа ключ, которые установлены в QFN корпус)

зуют биполярный и униполярный транзисторы, а также сверхвысоко-частотные диоды. Для изготовления биполярных и униполярных транзисторов используют любой полупроводниковый материал с соответствующими электрическими и физическими свойствами. Вначале использовали германий, а с развитием технологий стали применять арсенид галлия и кремний, который получил наиболее широкое распространение⁴.

7. Трёхмерные сборки

Технологии 3D сборки позволяют проводить монтаж кристаллов вертикально друг на друга, что значительно увеличивает их производи-

тельность и энергоэффективность, а также обеспечивает высокую плотность интеграции компонентов в едином компактном корпусе, что снижает стоимость 3D-устройств в сравнении с 2D-схемами. В общем случае технологии 3D сборки предусматривают формирование на кристалле сквозных отверстий через кремниевую подложку (Through-Silicon-Via, TSV) для организации электрической связи между слоями устройства, где каждый слой — это отдельный прибор или устройство. Например, первый слой содержит устройства обработки данных, второй — схемы памяти, третий — считывающие устройства и так далее.

² Сверхвысокочастотное излучение, также микроволновое излучение — электромагнитное излучение, включающее в себя дециметровый, сантиметровый и миллиметровый диапазоны радиоволн, частоты микроволнового излучения изменяются от 300 МГц до 300 ГГц, а длина волны составляет от 1 м до 1 мм.

³ Линии передачи бывают симметричные и несимметричные. Линия передачи, в которой два проводника имеют одинаковый потенциал относительно третьего, который заземлён, называется симметричной. В несимметричных линиях один из двух проводников заземлён.

⁴ Преимущества кремния состоят в том, что термически выращенная двуокись кремния SiO₂ используется как маска при диффузии или ионном легировании примесей, а также в том, что на ней можно получать очень тонкие рисунки путём травления. В то время как собственные окислы германия и арсенида галлия не так стабильны, поэтому в качестве защитной маски для них используют окислы, получаемые химическим осаждением из паровой фазы, которые по равномерности травления, стабильности, плотности уступают термическому окислу.

2.3. Баланс отраслевого рынка



Рисунок 5. Балансы рынков микроэлектроники Москвы и РФ, 2020 г.
Источник: Мосстат, Росстат, ФТС, анализ ГБУ АПР»

2.3.1. Рынок Москвы

Баланс московского рынка микроэлектроники в 2020 году составил 100,9 млрд. руб. или 8,9% от российского рынка (1 135 млрд. руб.).

Ключевыми источниками формирования предложения продукции на московском рынке стали: импорт — 41,9 млрд. руб. (42%), ввоз продукции из других регионов РФ в виде сальдо операций ввоза-вывоза — 38,3 млрд. руб. (38%), а также локальное московское производство — 20,7 млрд. руб. (21%).

Основные направления использования московской продукции: потребление — 98,9 млрд. руб. (98%)⁵, экспорт — 2 млрд. руб. (2%), а также вывоз в другие регионы⁶.

⁵ Объем потребления рассчитан экспертно, на основе данных об отгрузках продукции радиоэлектроники в Москве, а также доле компонентов в себестоимости данной продукции.

⁶ Объем вывоза в другие регионы учтен при расчете сальдо межрегионального ввоза-вывоза в источниках продукции. Ввиду отсутствия статистического учета по операциям ввоза-вывоза между регионами точные отдельные значения ввоза и вывоза определить не предполагается возможным.

2.3.2. Рынок РФ

Баланс рынка микроэлектроники в РФ в 2020 году составил 1135 млрд. руб. При этом объем российского производства оценивается в 1034 млрд руб., а импорт продукции — 101 млрд. руб. Внутреннее потребление продукции микроэлектроники составило 1264,6 млрд. руб., экспорт составил 10,4 млрд. руб.

В общероссийском балансе рынка микроэлектроники на Москву приходится значительный объем импорта продукции (41% от совокупного импорта микроэлектроники в Россию), а также экспорта продукции (20% от совокупного экспорта микроэлектроники из России). Вместе с тем, объемы московского производства составляют лишь 2% от совокупного российского производства.

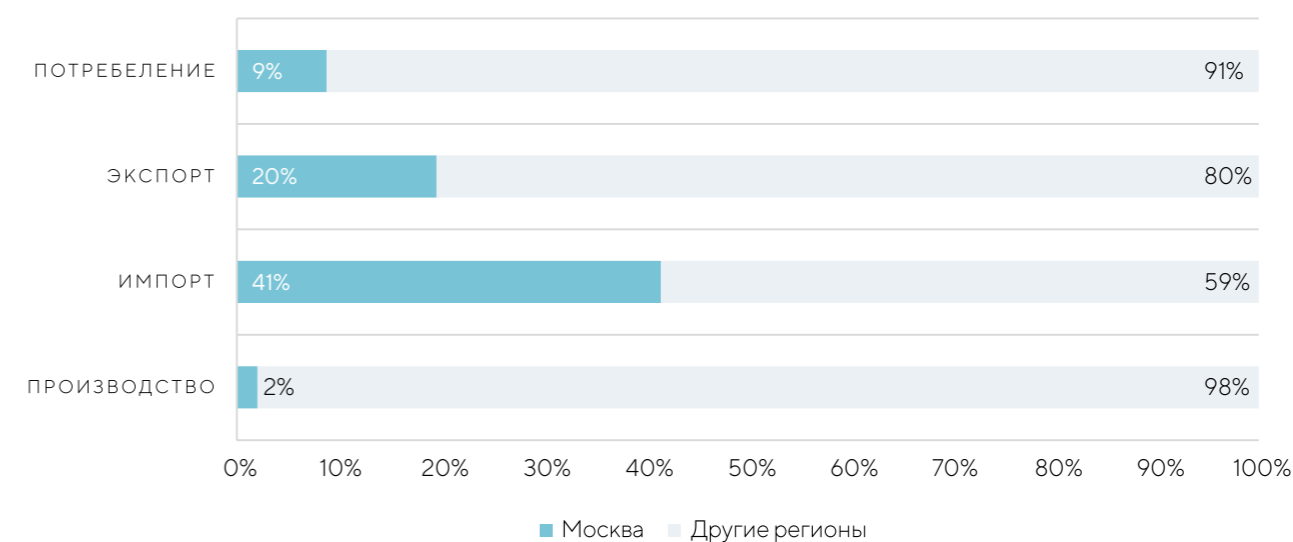


Рисунок 6. Доля объемов микроэлектроники Москвы в объемах РФ, %
Источник: Мосстат, Росстат, ФТС, анализ ГБУ АПР»

2.4. Анализ объемов производства

2.4.1. Место микроэлектроники в промышленности Москвы

В 2020 году московскими предприятиями было отгружено микроэлектронной продукции на сумму 20,7 млрд. руб.⁷, что на 4,68% больше объемов 2019 года, и составляет 4,25% объема отгрузок радиоэлектронной промышленности или 0,35% объема обрабатывающей промышленности Москвы⁸.

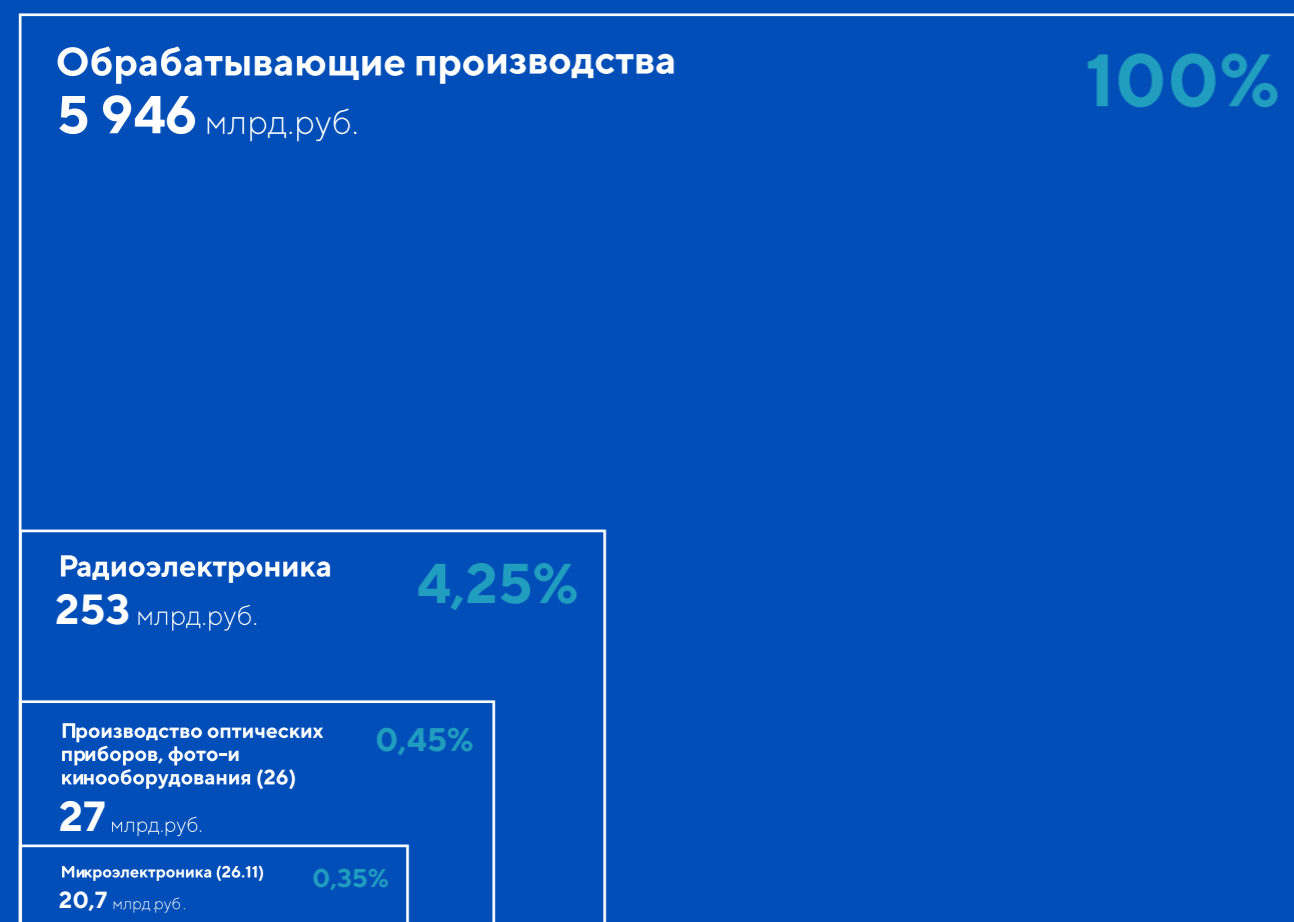


Рисунок 7. Доля микроэлектроники в обрабатывающей промышленности Москвы в 2020 году по объемам отгрузки
Источник: Мосстат

⁷Для расчета объемов отгруженной в Москве микроэлектроники использовалась статистика по ОКВЭД 2 26.1 «Производство элементов электронной аппаратуры и печатных схем (плат)» скорректированная на среднегодовое отношение объемов отгруженной продукции по видам деятельности 26.11 «Производство элементов электронной аппаратуры» и 26.12 «Производство электронных печатных плат» с 2017 г.

⁸Источник: Мосстат

2.4.2. Динамика отгрузок продукции

Объем отгрузок продукции микроэлектроники значительно вырос в 2018 году (+37,2%), закрепившись в следующие годы на уровне 20-21 млрд. руб.

При этом наблюдаются тенденции:

1) постепенного роста доли отгрузок микроэлектроники в обрабатывающей промышленности: с 0,32% в 2017 году до 0,35% в 2020 году;

2) постепенного роста доли отгрузок микроэлектроники в радиоэлектронике: с 7,4% в 2017 году до 8,2% в 2020 году.

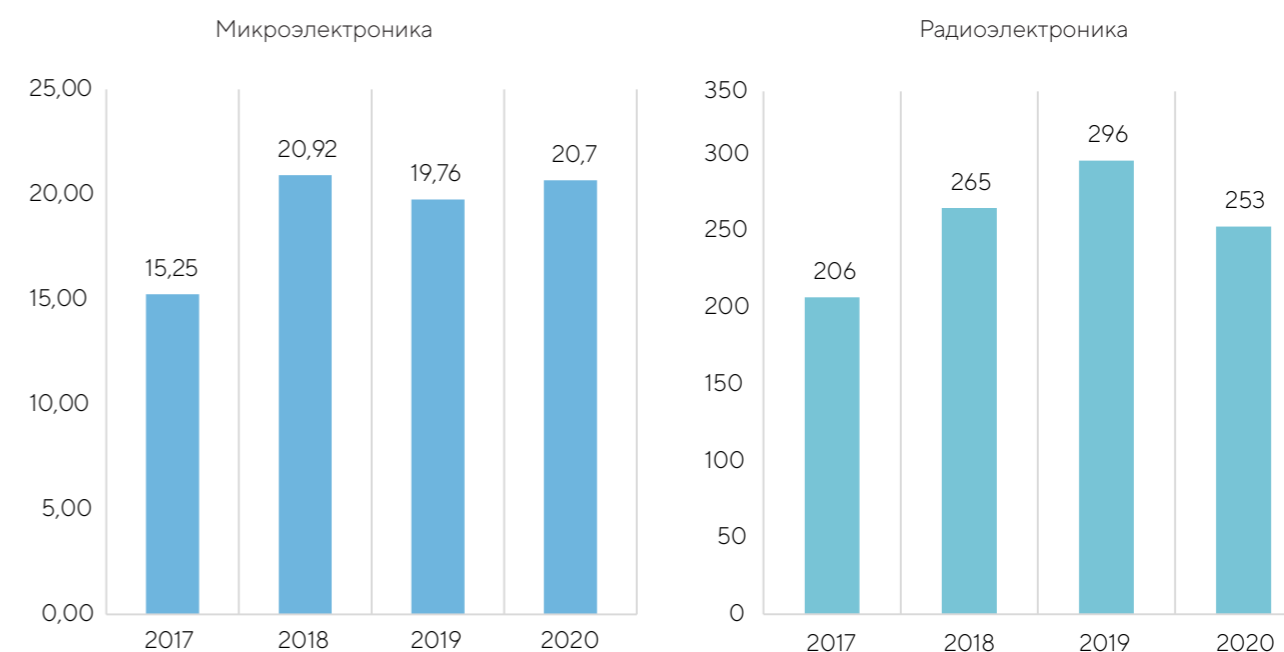


Рисунок 8. Динамика объемов отгруженной продукции в 2017-2020 гг., млрд. руб.
Источник: Мосстат

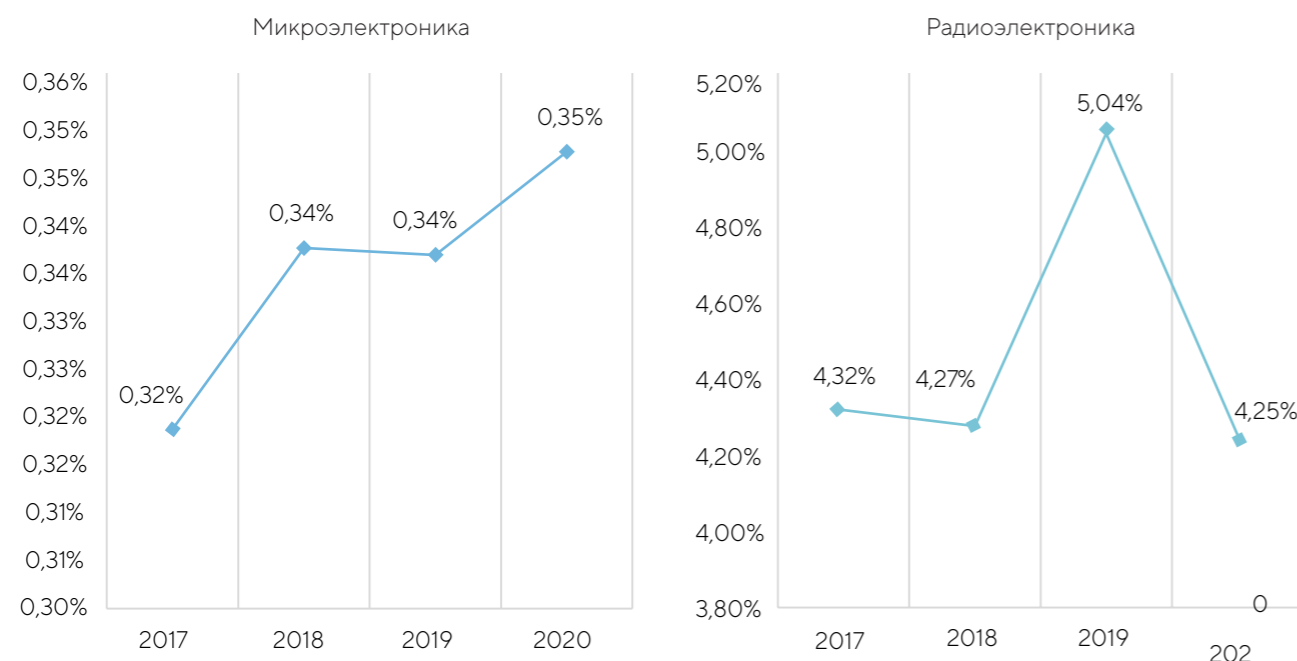


Рисунок 9. Динамика доли объемов отгрузки микроэлектроники в обрабатывающей промышленности в 2017-2020 гг., %
Источник: Мосстат, Росстат, ФТС, анализ ГБУ АПР»

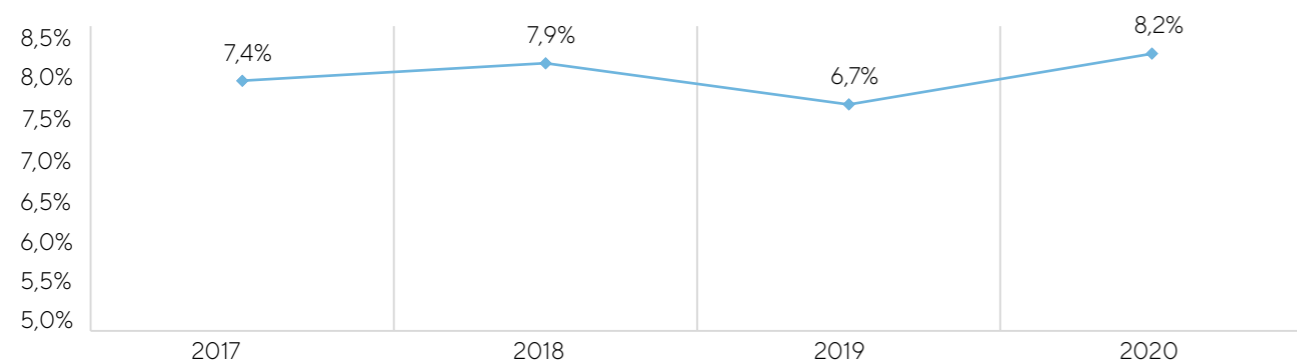


Рисунок 10. Динамика доли микроэлектроники в радиоэлектронике по объемам отгрузок в 2017-2020 гг., %
Источник: Мосстат

2.5. Инвестиции в основной капитал

Инвестиции в основной капитал предприятий, занятых производством компьютеров, электронных и оптических изделий (код 26) в Москве, выросли в 2,8 раз в 2019 году, достигнув 11 млрд. руб. По опубликованным данным за 3 квартала 2020 года, объем инвестиций в основной капитал составил 10 млрд. руб. При этом рост инвестиций в Москве сопровождается общероссийским падением объема инвестиций данного сегмента.

Объем инвестиций предприятий микроэлектроники (код 26.11) Москвы представлен в официальных данных только за 2017 год и составляет 1,6 млрд. руб. Принимая во внимание динамику объемов инвестиций предприятий, занятых производством компьютеров, электронных и оптических изделий (код 26), в 2018-2020 гг., предположительно, объем инвестиций предприятий микроэлектроники (код 26.11) Москвы в 2019 году составил 4,3 млрд. руб., а по итогам 3 квартала 2020 года – 5,2 млрд. руб.

Производство компьютеров, электронных и оптических изделий (26)

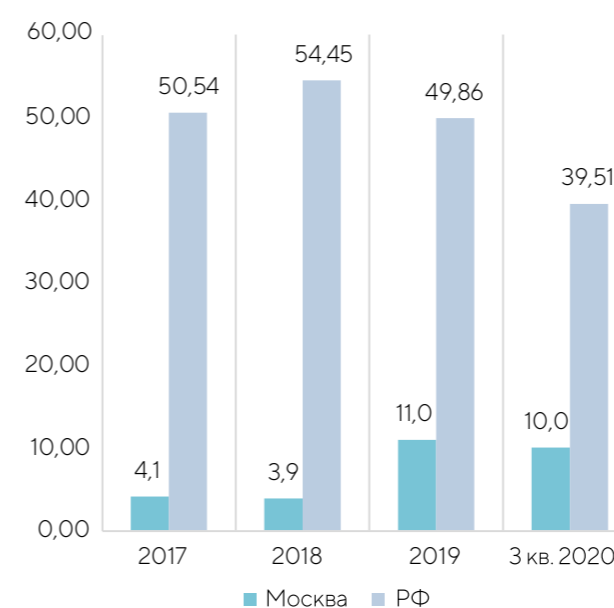


Рисунок 11. Динамика объема инвестиций в основные средства предприятий, занятых производством компьютеров, электронных и оптических изделий (26) в Москве и РФ в 2017-2020 гг., млрд. руб.
Источник: Мосстат

Микроэлектроника (26.11)⁹

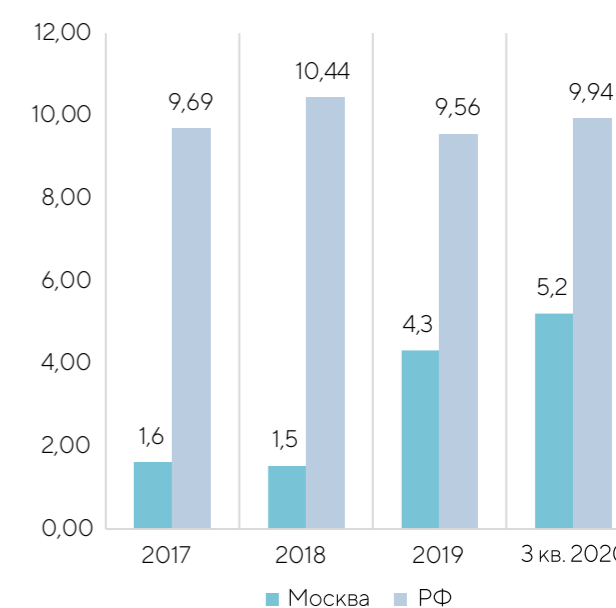


Рисунок 12. Динамика объема инвестиций в основные средства предприятий, занятых производством элементов электронной аппаратуры (26.11) в Москве и РФ в 2017-2020 гг., млрд. руб.
Источник: Мосстат, Росстат, оценка ГБУ «АПР» при сохранении структуры инвестиций отраслей 2017 года

⁹ ОКВЭД2 26.11 «Производство элементов электронной аппаратуры»

2.6. Анализ структуры импорта и экспорта Москвы

Внешнеторговый оборот продукции микроэлектроники в Москве превысил 43 млрд руб. по результатам 11 месяцев 2020 года, что составляет 40% в объеме внешней торговли РФ.

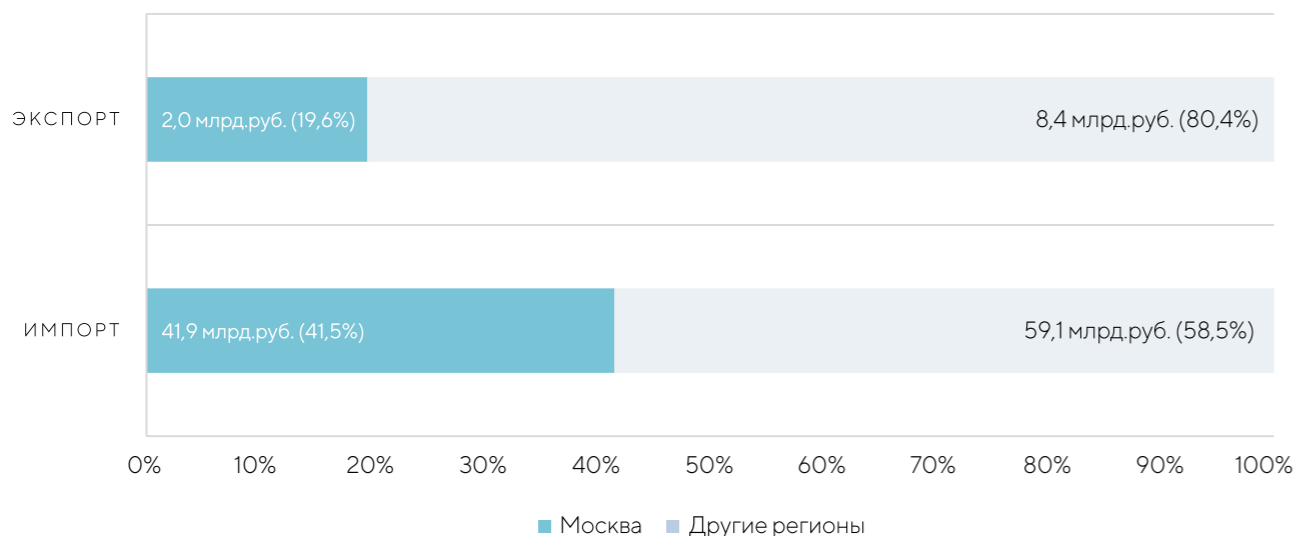


Рисунок 13. Доля Москвы во внешней торговле РФ, 2020
Источник: ФТС

2.6.1. Импорт

Объем импорта в Москву продукции микроэлектроники за 11 месяцев 2020 года составил 41,9 млрд руб. В столицу был ввезен 41,5% общего объема микроэлектронной продукции, импортируемого на территорию РФ. С 2017 по 2019 гг. импорт снижался в среднем на 7% в год, в то время как данный показатель за 11 месяцев 2020 года увеличился на 29% относительно показателя 2019 года.

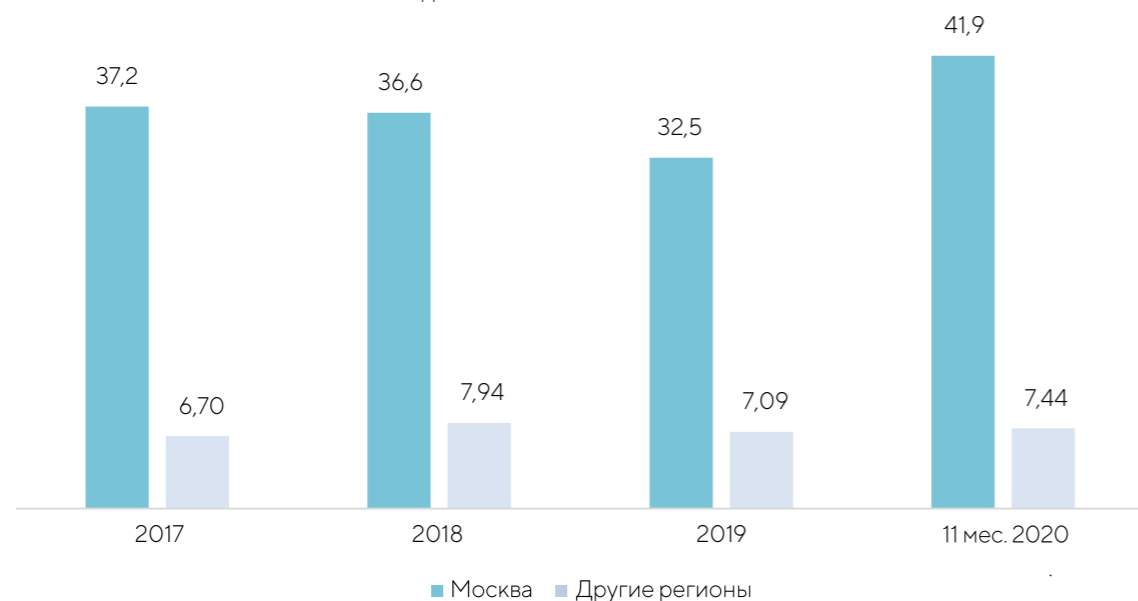


Рисунок 14. Объемы импорта продукции микроэлектроники в Москву
Источник: ФТС

В стоимостной структуре импорта микроэлектроники наибольшая доля приходилась на процессоры и контроллеры (62%), приборы полупроводниковые светочувствительные (12%) и запоминающие устройства (6%) (Рисунок 15). По среднегодовым темпам прироста объемов импорта в 2017-2019гг. лидировали: диоды (+10%), части трансформаторов и катушек индуктивности (+9%), приборы полупроводниковые светочувствительные (+8%). Основными поставщиком микроэлектроники на московский рынок являлись Китай (38% всей импортированной в столицу продукции), Малайзия (12%), Вьетнам (9%).

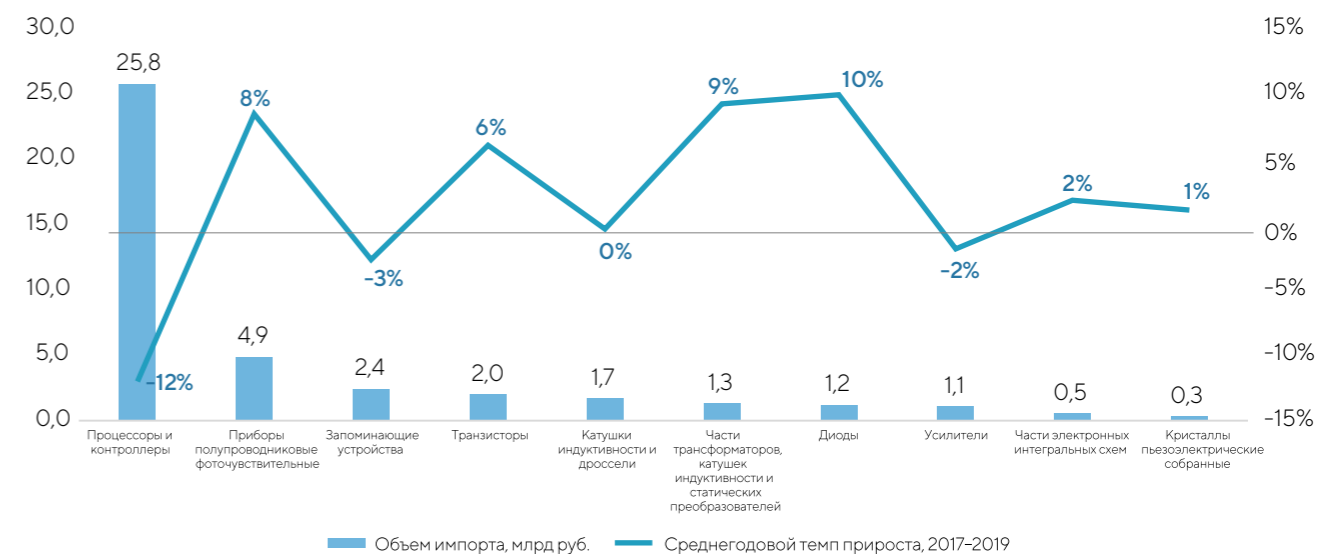
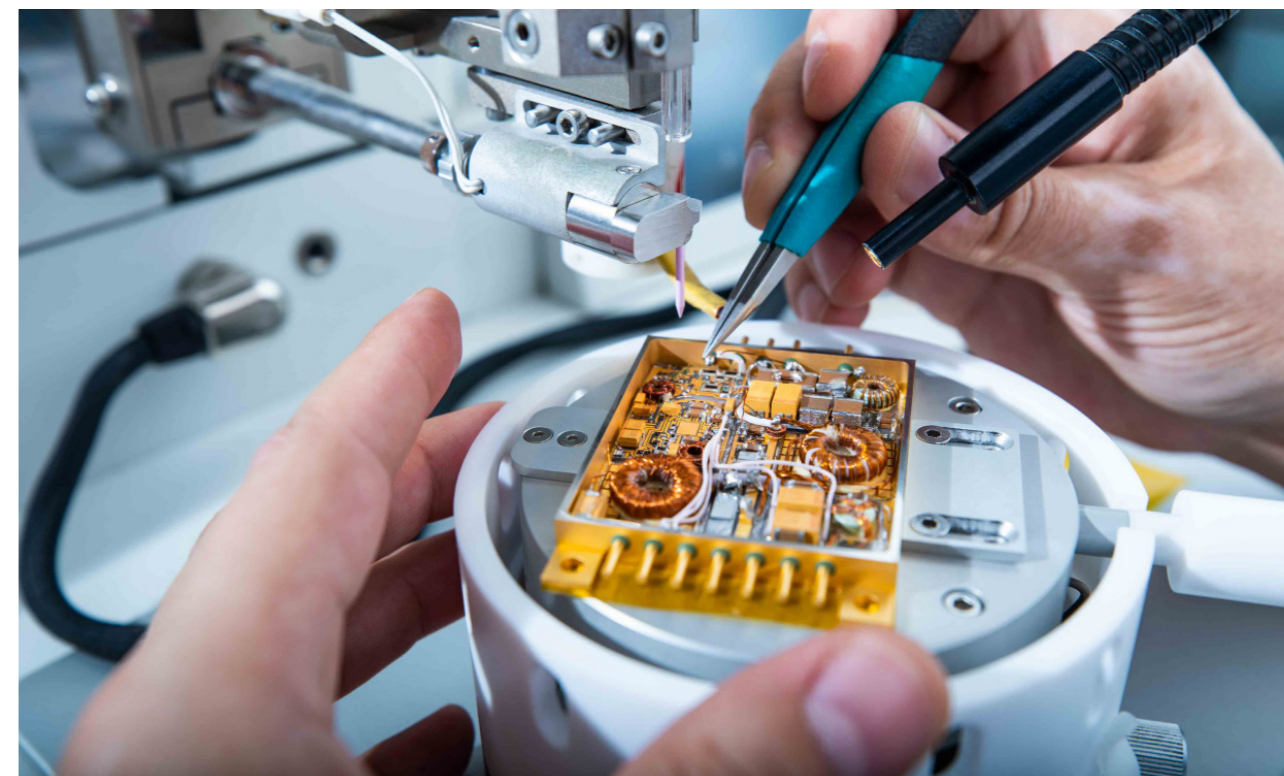


Рисунок 15. Структура импорта микроэлектроники в Москву, 2020 г.
Источник: ФТС



2.6.2. Экспорт

За 11 месяцев 2020 года экспорт продукции микроэлектроники достиг максимального показателя в рассматриваемом периоде – 2,03 млрд руб. (Рисунок 16). Из Москвы было экспортировано 20% всей вывозимой из России продукции отрасли производства микроэлектроники. Рост экспорта в рублевом эквиваленте произошел за счет падения курса национальной валюты.

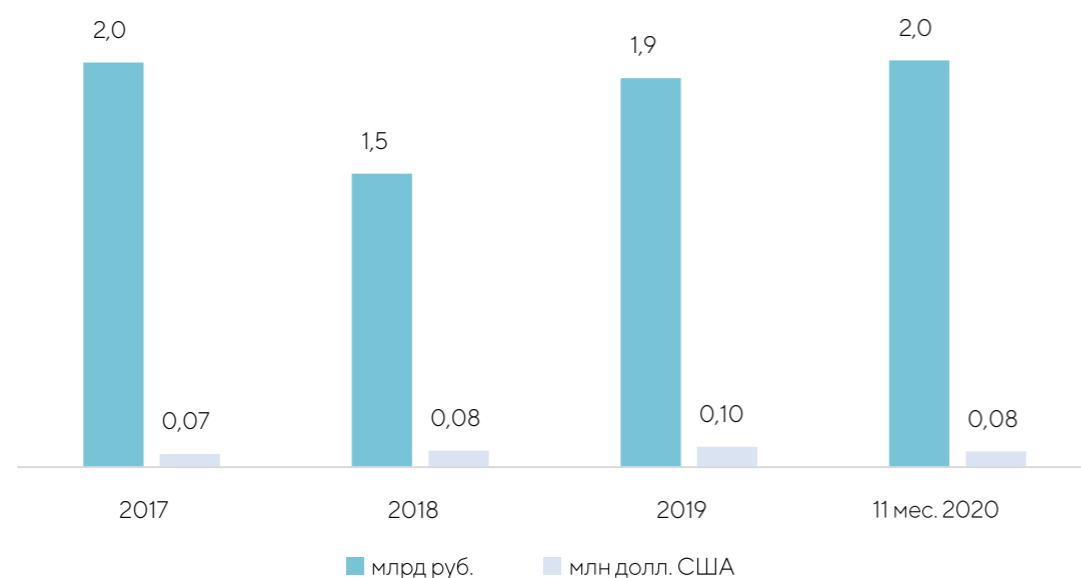


Рисунок 16. Объемы экспорта продукции микроэлектроники в Москву
Источник: ФТС

По данным Федеральной таможенной службы, процессоры и контроллеры занимали наибольшую долю в экспорте продукции из Москвы за 11 месяцев 2020 года (31%). На долю полупроводниковых фоточувствительных приборов приходилось 27%, прочих полупроводниковых приборов 22%. Доля остальных сегментов в структуре экспорта не превысила 5% (Рисунок 17).

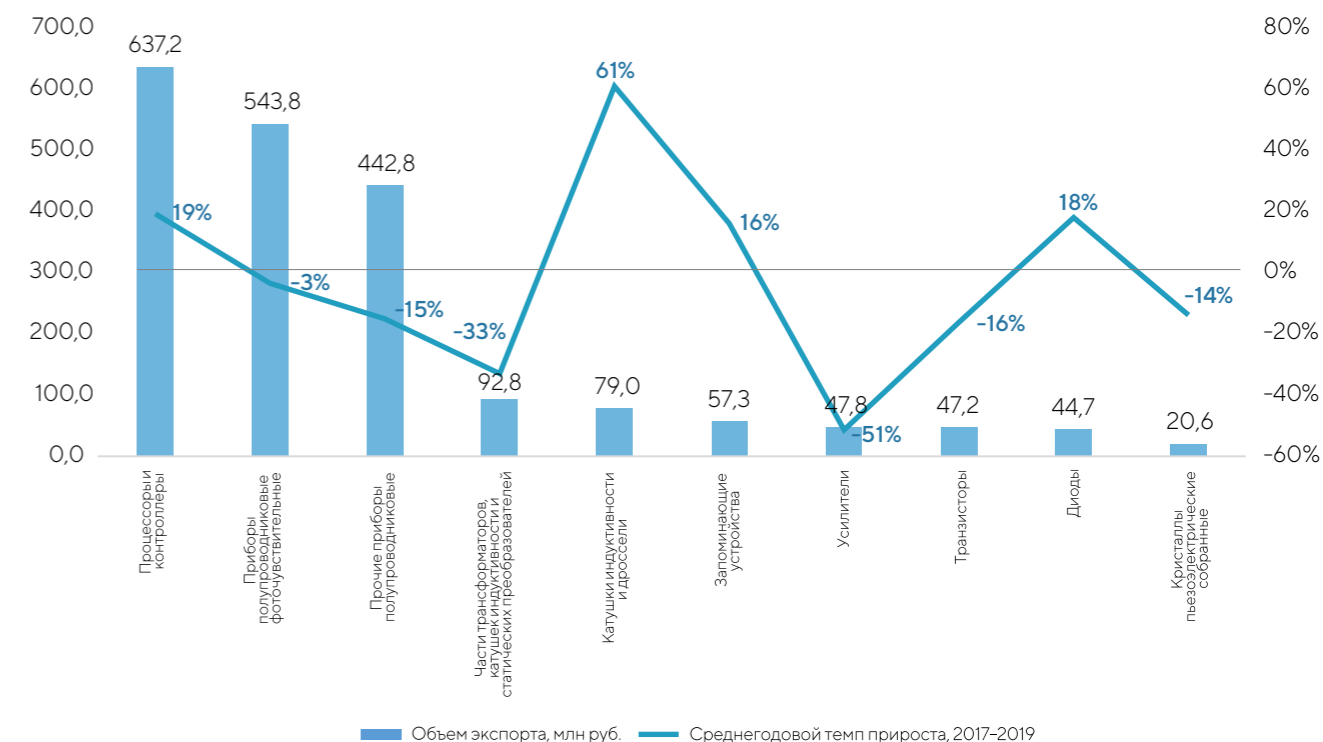


Рисунок 17. Структура экспорта микроэлектроники из Москвы, 2020 г.
Источник: ФТС

Наибольшие среднегодовые темпы прироста экспорта за 2017-2019 гг. продемонстрировали следующие сегменты: катушки индуктивности и дроссели (+61%), процессоры и контроллеры (+19%), диоды (+18%). Крупнейшими импортерами продукции из Москвы в 2020 году стали Беларусь (25% всей экспортированной из столицы микроэлектроники), Казахстан (12%) и Индия (9%).

2.7. Анализ государственных закупок Москвы

2.7.1 Крупнейшие заказчики

Общий объем государственных закупок микроэлектроники по 44-ФЗ в Москве в 2019 году составил 306 млн руб.

Крупнейшим заказчиком продукции микроэлектроники стал Аппарат Мэра и Правительства Москвы. Его подведомственные учреждения закупили 48% от общего объема государственных закупок микроэлектроники столицы. На комплекс социального развития в 2019 году приходилось 28% всех государственных контрактов, на Департамент транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы – 15%. Доля остальных исполнительных органов власти не превысила 5%.

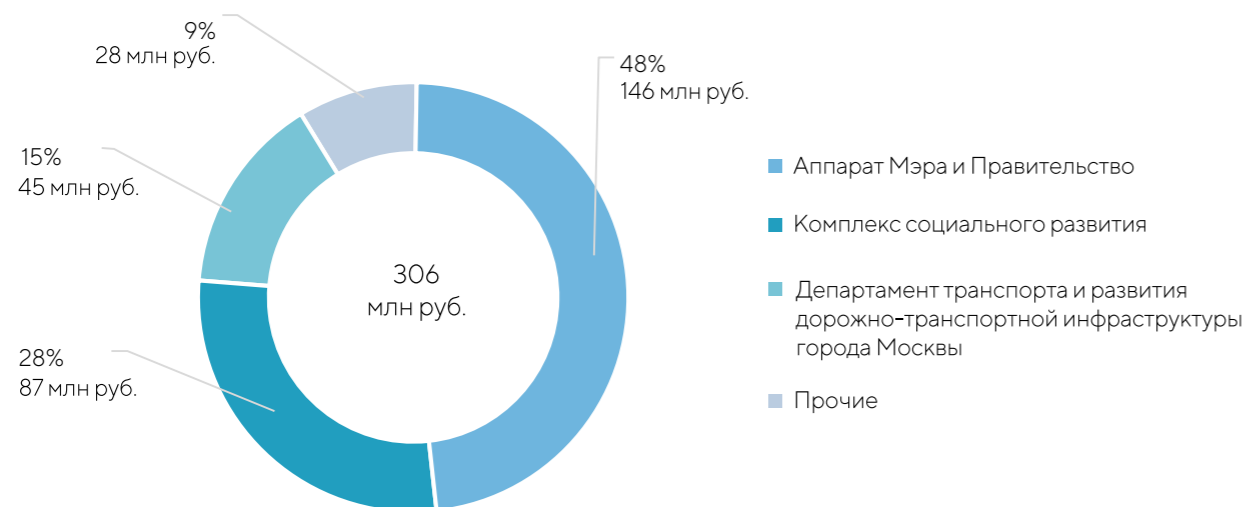


Рисунок 18. Структура государственных закупок Москвы по комплексам Правительства Москвы, 2019 г. Источник: zakupki.gov

Ниже приведен список ключевых заказчиков по отдельным организациям. На ТОП-10 заказчиков в 2019 году пришлось 70% всех государственных закупок микроэлектроники в Москве.

Таблица 1. ТОП-10 заказчиков микроэлектроники в сегменте государственных закупок Москвы

№	Наименование заказчика	Сумма закупки, млн руб.	Доля в общем объеме закупок, %
1	ГКУ «Технический центр департамента культуры города Москвы»	89,00	29%
2	ГУП «Московский метрополитен»	40,34	13%
3	ГБОУДО Зеленоградский дворец творчества детей и молодежи	19,44	6%
4	АО «ВДНХ»	15,83	5%
5	ГБУК г. Москвы «Московский театр «ЕТС»	15,14	5%
6	ГБОУДО Дворец творчества детей и молодежи «Преображенский»	10,79	4%
7	ГКУ «Дирекция по обеспечению деятельности организаций труда и социальной защиты населения города Москвы»	9,93	3%
8	Управа района Ново-Переделкино города Москвы	6,34	2%
9	ГБУК г. Москвы «Московский молодежный театр под руководством В. Спесивцева»	5,00	2%
10	ГУП «Мосгортранс»	4,34	1%
	Итого	216,16	70%

Источник: zakupki.gov

2.7.2 Структура закупок

В структуре закупок преобладали прочие полупроводниковые приборы, доля которых составила 80%, и части электронных компонентов с долей 13%. Доли остальных сегментов не превысили 5% (Рисунок 19).



Рисунок 19. Структура государственных закупок Москвы, 2019 г., млн руб. Источник: zakupki.gov

2.8. Планы развития и поддержки отрасли

2.8.1. Предпосылки поддержки отрасли

Приоритетными направлениями для отрасли станут подготовка кадров, научно-техническое развитие, средства производства, управление, кооперация, отраслевые стандарты, отраслевая информационная среда, капитализация, рынки и продукты, финансовое обеспечение и инвестиционная привлекательность.

1. Незрелость гражданского сектора

Наибольшую долю производимой в стране электроники обеспечивают предприятия военно-промышленного комплекса: государственные закупки занимают существенную долю в потреблении микроэлектроники. С одной стороны, это способствует высокому уровню развития областей, полностью или частично связанных с нуждами вооруженных сил: навигационная электроника, оптика, системы передачи данных.

С другой стороны, должного развития не получили направления гражданского сектора, связанных с сетями связи пятого поколения, интернетом вещей, RFID-продукцией. Кроме того, производители, выпускающие продукцию для ВПК, закрывают доступ к, так называемому, полному листу данных (DataSheet) на продукцию, что не позволяет внедрять разрабатываемые компоненты еще на этапе разработки.

2. Зависимость от импорта компонентной базы и оборудования

Для российской радиоэлектронной промышленности характерна высокая зависимость от импорта, особенно в части технологического оборудования, материалов и систем автоматизированного проектирования. Такая ситуация формирует угрозу прекращения поставок

оборудования и комплектующих для отечественных заказчиков в случае расширения санкционных ограничений.

Развитие отечественной полупроводниковой и электронной промышленности планируется за счёт импортозамещения элементно-компонентной базы в сегменте телекоммуникаций и топливно-энергетическом секторе, а также за счёт реализации федеральных цифровых проектов, в том числе:

- создания цифровых электронных баз в рамках национального проекта «Цифровая экономика», федерального проекта «Цифровое государственное управление»;
- реализации требования «пакета Яровой¹⁰» по хранению интернет-трафика пользователей. Данные требования увеличивают ёмкость российского рынка систем хране-

ния данных (СХД). Например, в 2018 году поставки СХД на российский рынок выросли на 25 %, до 409 млн долларов, а лидерство по объемам поставок захватили иностранные производители (Dell — 20,3 %, HP — 16,4 % и IBM — 15,9 %), при этом единоличным лидером стала российская компания Yadro с долей 38,2 % рынка. Госзаказ обеспечивает не менее 30 % продаж СХД в России;

- перевода абонентов мобильной связи на криптографию, соответствующую требованиям ФСБ11.

3. Отставание технологий

Один из ключевых вопросов в микроэлектронике — производствен-

ные процессы, которые определяют количество транзисторов на одном кристалле и их конечный размер. В мире отмечается постоянное удорожание производства в связи с уменьшением проектных норм изделий. В зависимости от размера микрочипы имеют самое широкое применение — от военной техники и промышленного оборудования до смартфонов и банковских карт. На мировом рынке уже существуют технологические процессы рассчитанные на производство продукции в 5 нм. Так, тайваньская TSMC приступила к серийному производству подобных изделий в середине 2020 года. Отечественные чипы пока

удаётся выпускать размером 16 нм, используя при этом мощности зарубежных производителей. При этом относительно небольшие объемы выпуска комплектующих не позволяют конкурировать российским компаниям с иностранными изделиями по цене.

Для освоения новых технологий и модернизаций производственного оборудования требуются существенные объемы инвестиций. Согласно опросам производителей отрасли, государственная поддержка остается единственным ресурсом для расширения производства.

2.8.2. Направления поддержки отрасли

1. Стратегия развития электронной промышленности Минпромторга

Для решения описанных выше проблем Министерство промышленности и торговли Российской Федерации разработало проект стратегии развития электронной промышленности России до 2030 года. После ее реализации доля российской электроники на мировом рынке должна увеличиться до 1,5%, а темпы прироста объемов производимой продукции достигнуть 8% в год. Стратегия будет реализована в несколько этапов — на первом из них внимание будет уделено развитию традиционных рынков (телекоммуникационное и навигационное оборудование, вычислительная техника, системы автоматизации). Далее, в 2021–2024 годах, планируется охват рынков, связанных с развивающимися в данный момент технологиями — интернет вещей, 5G, интеллекту-

альная энергетика.

В 2025 фокус планируется сместить в сторону искусственного интеллекта, беспилотного транспорта и других прогрессивных направлений.

2. Дорожная карта Ростеха

В сентябре 2020 года государственная корпорация «Ростех» направила в адрес Правительства РФ дорожную карту мероприятий по формированию высокотехнологичной области «Новые поколения микроэлектроники и создание электронной компонентной базы». Согласно документу, на развитие российской микроэлектроники потребуется около 800 млрд руб. до 2024 г. Под новым поколением микроэлектроники «Ростех» подразумевает чипы с топологическими нормами 65 (55) нм, 28 нм, 14 нм. Другой технологией, которую планируется разработать и производить в России, станут твердотельные на-

копители данных с топологической нормой 25–30 нм. Стоит отметить, что дорожная карта не предполагает закупок оборудования у иностранных компаний. «Ростех» планирует развивать эти технологии самостоятельно на мощностях дочерних предприятий. Реализация дорожной карты обеспечит объем экспорта российской микроэлектроники нового поколения размером 20,4 млрд руб. к 2024 году, а к 2030 году — 48,8 млрд руб., говорится в документе. Внутренний рынок решений на базе новых поколений микроэлектроники к 2024 г. должен составить более 400 млрд руб.

3. «Умные» города

К 2024 году «умными» должны стать 18 городов в 15 регионах России. По сравнению с 2019 годом суммарные затраты регионов на информационно-коммуникационные технологии должны увеличиться

на 31,6%, до 212 млрд рублей. В частности, бюджет Москвы на информационные технологии в 2020 году составил 82 468 млн рублей, превысив аналогичные расходы в 2019 году на 11%.

Например, ведущее предприятие по разработке, корпусированию и тестированию микроэлектронной продукции GS Nanotech приступило к реализации проекта по производству компонентов для «умных» счётчиков. Также организовали локализацию светодиодов на территории РФ. Как и в случае с другими микросхемами, речь не идёт о производстве самих кристаллов, но, по ряду мнений, такие технологические операции, как корпусирование диодов, вполне можно локализовать в ближайшее время.



¹⁰ Федеральный закон от 6 июля 2016 г. № 374-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон „О противодействии терроризму“ и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части установления дополнительных мер противодействия терроризму и обеспечения общественной безопасности»;

федеральный закон от 6 июля 2016 г. № 375-ФЗ «О внесении изменений в Уголовный кодекс Российской Федерации и Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации в части установления дополнительных мер противодействия терроризму и обеспечения общественной безопасности»;

¹¹ Приказ Минкомсвязи РФ От 13.06.2018 N 275 «О внесении изменений в правила применения оборудования коммутации сетей подвижной радиотелефонной связи».

Приказ от 25 июня 2018 г. N 319 «Об утверждении правил применения оборудования коммутации сетей подвижной радиотелефонной связи».

3 Производители города Москвы

3.1. Основные производители и номенклатура продукции

В Москве насчитывается 31 предприятие в области разработки и производства микроэлектроники. Большинство из них расположены в Зеленоградском АО г. Москвы. Номенклатура предприятий состоит из широкого спектра микроэлектроники. В производстве и разработке микропроцессоров задействованы следующие производители:

- АО «БАЙКАЛ ЭЛЕКТРОНИКС» – процессоры Байкал;
- АО «МЦСТ» – процессоры Эльбрус;
- ООО «МПК «МИЛАНДР» – микроконтроллеры и процессоры ЦОС 1967ВН028 и 1967ВН044
- ООО «КМ211» – микроконтроллеры и процессоры «Мастер Кварк»;
- ООО «ИВА ТЕХНОЛОДЖИС» – микроконтроллеры и процессоры с нейронным вычислительным блоком (тензором) серии IVA.

Ниже представлен список крупнейших предприятий, локализовавших разработку и производство микроэлектроники в Москве (Таблица 2).

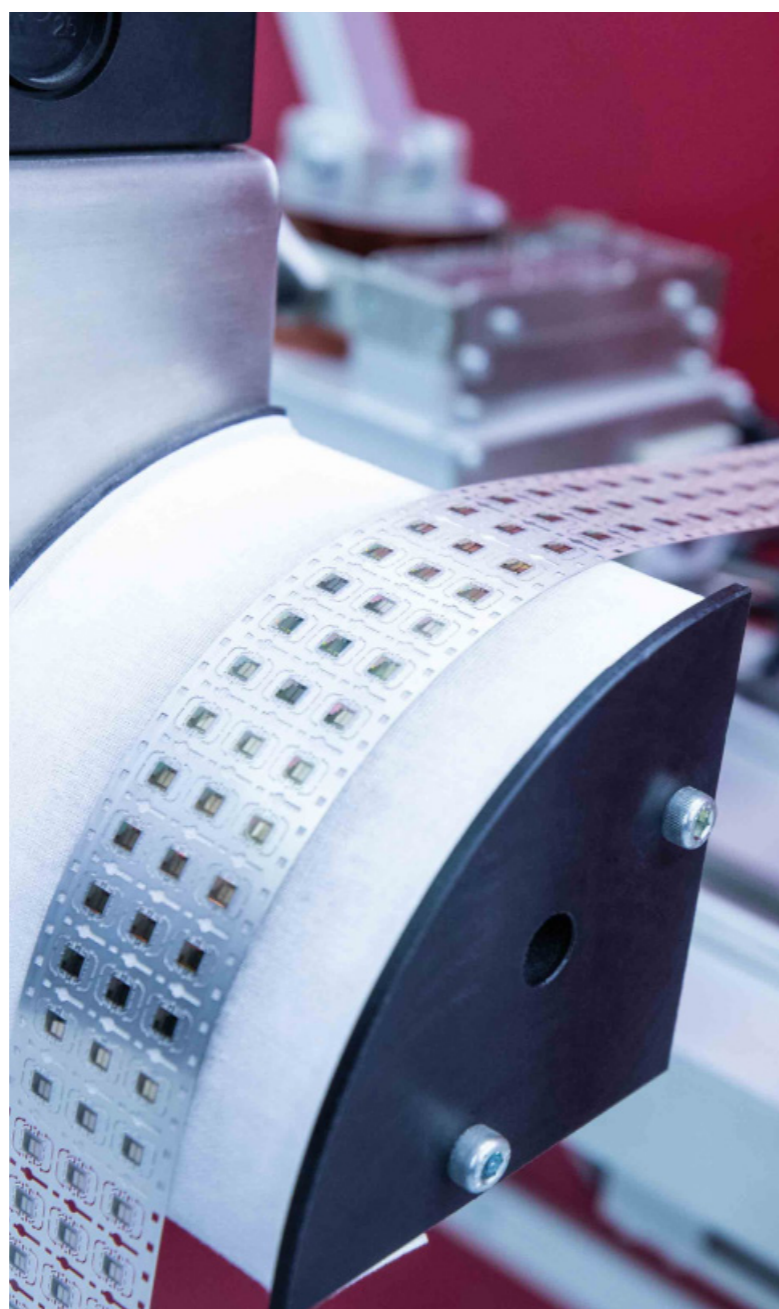


Таблица 2. Основные производители Москвы и номенклатура производимой продукции

№	Наименование заказчика	Выручка, 2019, тыс. руб.	Номенклатура продукции
1	ФГУП «ВНИИА»	21 481 699 *	Специальные электровакуумные и полупроводниковые приборы; преобразователи электромагнитных, гамма-, рентгеновских, нейтронных, оптических полей в электрические сигналы; регистраторы быстропротекающих физических процессов с предельным временным разрешением; электрофизические устройства, обеспечивающие формирование высоких напряжений и сверхсильных импульсных электрических токов; сложнейшие механизмы, пневматические и гидравлические устройства; компоненты с высокой механической, тепловой и радиационной стойкостью.
2	ПАО «МИКРОН»	7 949 692	Микросхемы управления питанием; дискретные полупроводниковые устройства; RFID-продукция; интернет-вещей; микроконтроллеры.
3	ПАО «РАДИОФИЗИКА»	3 936 958	Многоканальных приемопередающие модули (ППМ); СВЧ модули; монолитные интегральные схемы.
4	АО «НИИ «ПОЛЮС» ИМ. М.Ф.СТЕЛЬМАХА»	3 735 006*	Оптические модули: полупроводниковые излучатели; фотоприемные устройства.
5	АО «ЦНИИ «ЦИКЛОН»	2 756 272*	Разработка и создание отечественной электронной компонентной базы, включая опытное производство; разработка и создание изделий микросистемной техники и микроэлектромеханических систем, включая опытное производство; разработка и создание информационно-телекоммуникационных систем, включая опытное производство.
6	АО «АНГСТРЕМ»	1 492 930	Аналого-цифровые преобразователи; базовые матричные кристаллы; микросхемы; RFID-системы; силовые и полупроводниковые приборы.
7	АО «ГЗ «ПУЛЬСАР»	745 404*	Производство полупроводниковых СВЧ, силовых, фотоэлектронных и микроэлектронных приборов, выпуск радиоэлектронной аппаратуры для информационных систем гражданского назначения.
8	АО «ЛИТ-ФОНОН»	721 386	Производство кварцевых генераторов и резонаторов.
9	АО «ГК «ЭЛЕКТРОНИВЕСТ»	691 557	Одноканальные, двухканальные и трехканальные модули питания; фильтры ограничители ФПО; миниатюрные электрические соединители.

№	Наименование заказчика	Выручка, 2019, тыс. руб.	Номенклатура продукции
10	АО «ОПТРОН»	493 844	Диоды; оптопары; стабилитроны; цифровые индикаторы.
11	АО «ЗИТЦ»	479 287	Разработки в области нано- и микросистемной техники.
12	АО «ЗНТЦ»	392 861	Сборка кристаллов микросхем и датчиков в корпуса, создание вертикально интегрированных многокристальных модулей сложных систем (3D сборка); контроль и измерение электрических и функциональных параметров; прототипирование изделий микроэлектроники и смежных областей, в том числе разработка изделий и изготовление приборов и изделий медицинского назначения; поддержка и развитие технологических проектов, трансфер технологий, привлечение стратегических партнеров и экспертов.
13	АО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»	328 675	Широкополосные СВЧ-усилители; многополосные СВЧ модули.
14	АО «НПЦ СПЕЦЭЛЕКТРОНСИСТЕМЫ»	274 301	Производство керамических 3D структур; сборка микромодулей.
15	АО «БАЙКАЛ ЭЛЕКТРОНИКС»	198 763	Процессоры.
16	АО «ПЬЕЗО»	164 608	Кварцевые генераторы и резонаторы; МЭМС генераторы; пьезодатчики.
17	ООО «КМ211»	154 035	Микроконтроллеры; микропроцессоры; смарт-карты.
18	ООО «ИНИСТА»	144 892	Диоды.
19	ООО «ТЕСТ-КОНТАКТ»	104 244	Полупроводниковые приборы (в том числе, силовые транзисторы и диоды); реле; болометрические датчики; токовые модули; сборки на МЭМС-датчиках и пр.
20	АО «НПП «САПФИР»	46 633	Интегральные микросхемы.
21	ООО «КРОКУС НАНОЭЛЕКТРОНИКА»	36 875	MRAM память; магнитные датчики.
22	ООО «ПЬЕЗОТРОН»	35 462	Кварцевые генераторы и резонаторы.
23	АО «ТЕЛАЗ»	34 667	Оптические модули; решающие модули.
24	ООО «МАППЕР»	20 243	МЭМС системы.
25	ООО «ТОПЭ»	14 233	Мини OLED-дисплеи.
26	ООО «НПЦ ОЭП «ОПТЭЛ»	11 844	Диоды; оптоэлектронные приборы.

№	Наименование заказчика	Выручка, 2019, тыс. руб.	Номенклатура продукции
27	ООО «ИВА ТЕХНОЛОДЖИС»	10 485	Микропроцессоры.
28	ООО «НЕОРОС»	8 206	Оптические PLC сплиттеры.
29	ООО «СИ ЭН ЭЛ ДЕВАЙСЕЗ»	2 300	Исследования и разработка фотокатодов для электронно-оптических преобразователей ультрафиолетового диапазона.
30	ООО «МПК «МИЛАНДР»	н/д	Процессоры; микроконтроллеры; микросхемы памяти; микросхемы управления питанием; микросхемы преобразователей, СВЧ микросхемы, генераторы, интерфейсные микросхемы.
31	ООО «НПП «АРБЕЛОС»	н/д	СВЧ-транзисторы; Гибридные DC/DC преобразователи.
	Итого	> 46 467 362	

* Указана выручка 2018 года в связи с отсутствием опубликованных данных за 2019 год
Источник: СПАРК, анализ ГБУ «АПР»

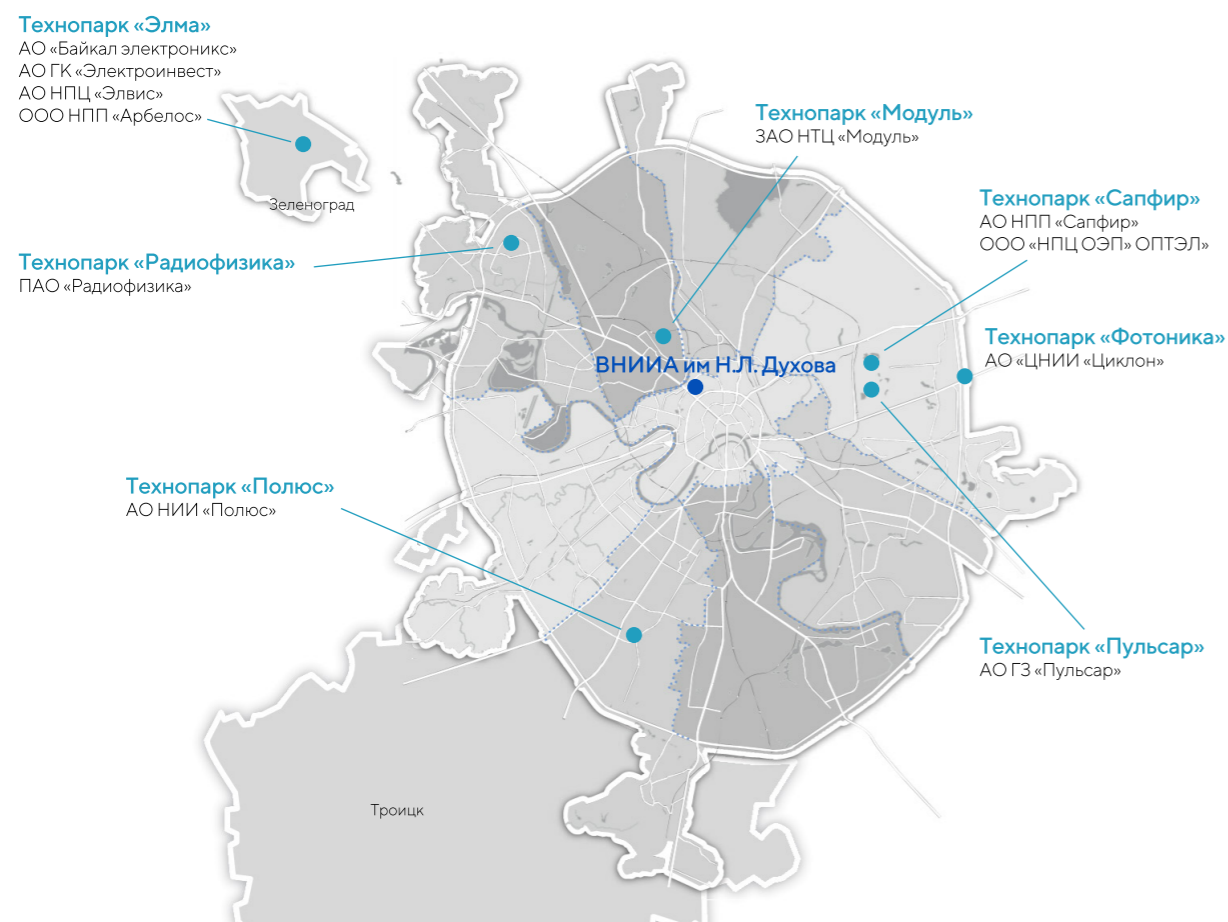
3.2. Локализация предприятий отрасли в Москве

3.2.1. Резиденты технопарков

В Москве 11 компаний локализованы в 7 технопарках Москвы. Выручка крупнейших 10 резидентов технопарков составила более 6 млрд рублей.

3.2.2. Промышленные комплексы

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л.Духова» имеет статус промышленного комплекса с общей выручкой более 21 млрд рублей.



- Технопарки, резидентами которых являются предприятия микроэлектроники
- Промышленные комплексы

Рисунок 20. Предприятия со статусом резидента технопарка или промышленного комплекса
Источник: i.moscow

3.2.3. Резиденты ОЭЗ

9 производителей продукции микроэлектроники локализованы в особой экономической зоне «Технополис «Москва». Их совокупная выручка в 2019 году составила 11,1 млрд рублей.



Рисунок 21. Локализация московских предприятий в ОЭЗ
Источник: ДИПП, анализ ГБУ «АПР»

3.3. Современные и исторические достижения московской промышленности

Уровень технологического развития производства микроэлектроники в России отстаёт от мирового на 7-10 лет. Несмотря на это, в Москве есть предприятия, которые наладили производство на конкурентном мировом уровне, например, АО «ПКК Миландр», ПАО «Микрон».

Отсутствие в Москве передового технологического производства в некоторой степени компенсируется наличием дизайн-центров, которые способны разрабатывать микро- и наноэлектронику по технологическим нормам от 16 до 7 нанометров, а производить её на зарубежных площадках. Такой подход к производству микро- и наноэлектроники соответствует мировым тенденциям в этой отрасли.

1. Столичные предприятия увеличили экспорт электронных интегральных схем на остров Тайвань на 30%

За первые четыре месяца 2020 года московские предприятия поставили на остров Тайвань электронных интегральных схем на \$ 0,75 млн., что на 30 % больше показателей 2019 года за тот же период и почти половина экспорта всех московских промышленных товаров на остров, который составил \$ 2 млн.

Большую часть несырьевого неэнергетического экспорта столицы на остров Тайвань занимают электронные интегральные схемы.

2. Рост контрактного производства электроники на 26%

Московский рынок контрактного производства электронного оборудования вырос в 2019 году на 26% и составил

около 20 млрд. рублей (около 300 млн. долларов США).

3. Московские микросхемы выходят на китайский рынок

Московский разработчик и производитель интегральных микросхем АО «ПКК Миландр», подписал соглашение об оказании представительских и дистрибьютерских услуг, которые российскому производителю предоставит профильное подразделение китайского технологического гиганта «Poly Group».

4. Московское предприятие ООО «Маппер» наладило производство уникальных для России МЭМС и НЭМС, которые используют при производстве самой разной высокотехнологичной продукции в России и за рубежом.

Чистые производственные помещения ООО «Маппер» занимают 1500 м², производственная линейка насчитывает более 30 единиц производственного оборудования, предназначенного для обработки 100 мм пластин. Технологическая линия компании настроена на производство малых и средних партий продукции.

5. Московская компания ISBC продала компании Apple свою торговую марку AIRTAG, под которой производила устройства с RFID-метками.

6. АО «Зеленоградский нанотехнологический центр» совместно с НИУ МИЭТ создал необходимую инженерную и технологическую инфраструктуру для производства высокоинтегрированных 3D-микромодулей и «систем-в-корпусе» на базе инновационной площадки МИЭТ.

7. АО «Зеленоградский нанотехнологический центр» совместно с НИУ МИЭТ создают Центр расширенного доступа к новейшим технологиям 3D-интеграции изделий микро- и наноэлектроники и электронных устройств на их основе

8. АО «МЦСТ» разработал инженерный образец микропроцессора с архитектурой «Эльбрус» 6-го поколения, выполненный как система на кристалле (СНК). Процессор «Эльбрус 16-С» содержит 16 вычислительных ядер общей производительностью 1.5 ТФлопс одинарной точности и 750 ГФлопс двойной точности, 8 каналов памяти DDR4-3200 ECC, встроенные контроллеры Ethernet 10 и 2.5 Гбит/с, 32 линии PCI-Express 3.0, 4 канала SATA 3.0. Процессор будет поддерживать объединение в многопроцессорные системы до 4 процессоров с общим объемом оперативной памяти до 16 Тбайт. Общее число транзисторов в процессоре составит 12 млрд.

9. Инженеры и ученые НОЦ Функциональные Микро/Наносистемы (НОЦ ФМН) в кооперации с учеными ИФТТ РАН, МИСиС, МФТИ и РКЦ, разработали технологию создания сверхпроводниковых кубитов с «временем жизни» на уровне 50 микросекунд. Полученные результаты не уступают параметрам кубитов лучших мировых аналогов от IBM, Google, Intel. Ключевые игроки зарождающегося рынка кубитов выбрали в качестве технологической платформы именно сверхпроводниковые кубиты. В результате двухлетней работы были созданы и экспериментально продемонстрированы кубиты типа 2D-трансмон.

10. Московская компания ООО «КРОКУС НАНОЭЛЕКТРОНИКА» первой в России начала производить микроэлектронные компоненты с проектными нормами 90/55нм по завершающему производственному циклу и магнито-резистивной памяти MRAM и энергоэффективной памяти ReRAM с произвольным доступом.

11. Московские компании ООО «КРОКУС НАНОЭЛЕКТРОНИКА» и АО «ЗНТЦ» начали производство микро- и наноэлектроники методом 3D-сборки.

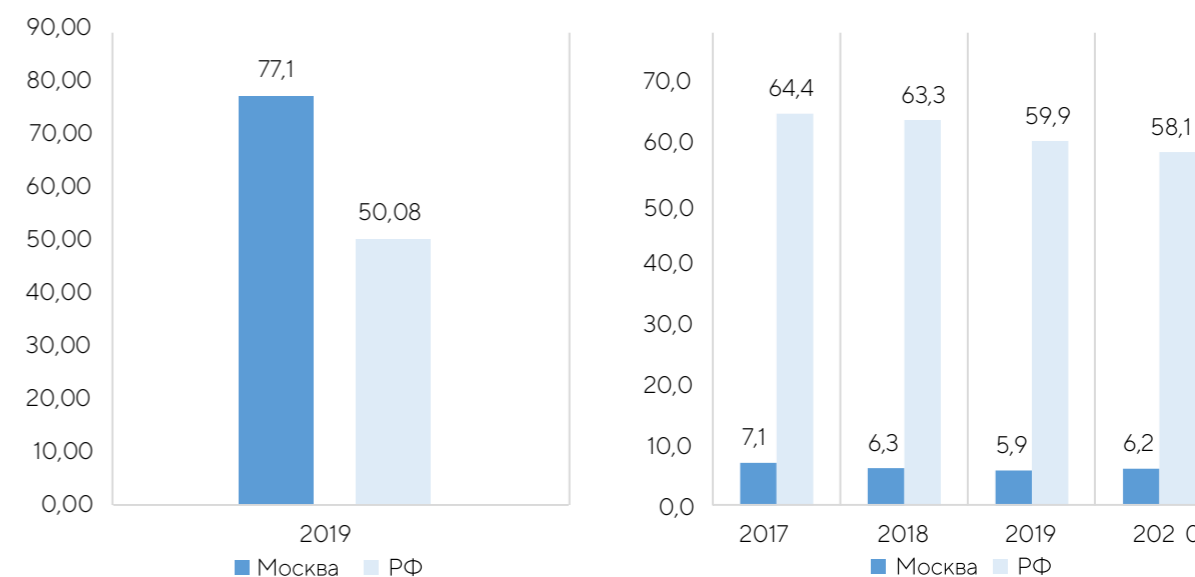
4 Уровень обеспеченности трудовыми ресурсами

4.1. Анализ численности сотрудников и средней заработной платы

Численность сотрудников, занятых на московских предприятиях по производству элементов электронной аппаратуры и печатных схем (код 26.1) сокращалась на протяжении последних лет с 7,1 тыс. чел. в 2017 году до 5,9 тыс. чел. в 2019 году.

Активизация спроса на радиоэлектронику, в том числе в медицинских целях, в период пандемии привлекла дополнительные кадры в микроэлектронику, увеличив численность сотрудников в 2020 году на 4,9% до 6,2 тыс. человек.

Средняя номинальная начисленная заработная плата на предприятиях микроэлектроники в Москве в 2019 году составила 77 087 руб. Заработная плата в столице на 54% превышает среднероссийскую заработную плату на предприятиях микроэлектроники, которая в том же году составила 50 080 руб.



Средняя заработная плата в микроэлектронной промышленности (26.1) в Москве и РФ в 2019 году, тыс.руб.

Динамика численности сотрудников, занятых на предприятиях по производству элементов электронной аппаратуры и печатных схем (26.1) в Москве и РФ в 2017-2020 гг., тыс. руб.

Источник: Мосстат, Росстат

4.2. Основные центры компетенций по подготовке кадров

4.2.1. По подготовке кадров в средних и высших образовательных учреждениях

В Москве насчитывается 2 высших учебных заведения, занимающихся подготовкой кадров для отрасли производства микроэлектроники. Средних специальных учебных заведений, занимающихся подготовкой соответствующих кадров в Москве, нет.

Ежегодно столичные высшие учебные заведения выпускают свыше 400 дипломированных специалистов для предприятий (Таблица 3).

Таблица 3. Направления подготовки в высших учебных заведениях.

Наименование образовательной организации Наименование образовательной организации	Шифр/ код специальности	Наименование направления подготовки (укрупненной группы направлений подготовки)	Контрольные цифры приема по специальностям и направлениям подготовки и (или) укрупненным группам специальностей и направлений подготовки 2020-21 гг.			
			Всего	Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский институт «МЭИ» (МЭИ)	11.03.04	Электроника и наноэлектроника	214	214	-	-
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (МИЭТ)	11.03.03	Конструирование и технология электронных средств НМСТ	57	57	-	-
	11.03.03	Электроника и наноэлектроника	150	150	-	-

Источник: Данные сайта «Поступи Онлайн» и официальных сайтов образовательных организаций, анализ ГБУ «АПР»

4.2.2. По повышению квалификации исследовательских, инженерных и технических кадров для отрасли

Проведенный выше анализ показывает, что на сегодняшний день Москва обладает высоким потенциалом и удерживает лидерство по подготовке высококвалифицированных кадров для промышленного сектора в рассматриваемой отрасли.

В то же время, представители организаций, в которые приходят работать выпускники, отмечают, что молодежь не удовлетворяет профессиональным требованиям работодателя. Кроме того, большинству таких специалистов требуется дополнительное обучение. Программы повышения квалификации/профессиональной переподготовки для отрасли отсутствуют.

4.3. Анализ практики взаимодействия образовательных учреждений и производственных предприятий в части подготовки кадров и улучшения образовательных программ

Предпосылки

В последние годы отмечается стремительное развитие высокотехнологичных и наукоемких производств, обновление производственного оборудования, ускоренное внедрение инновационных научных разработок в массовое производство, что значительно изменило запросы работодателей и рынка труда к подготовке квалифицированных кадров. В результате возникшего дисбаланса интересов, особенно в условиях нарушенной традиционной системы сотрудничества между структурами различной направленности и собственности к организации взаимодействия между образовательными и промышленными организациями предъявляются новые требования.

Для всех заинтересованных сторон стало совершенно очевидно, что в подобных условиях им сложно эффективно развиваться и адапти-

роваться к изменениям изолированно, независимо друг от друга. В настоящий момент назрела необходимость пересмотреть содержание подготовки во многих специальных, средних специальных и высших учебных заведениях, адаптировать ее под насущные потребности промышленности.

Инфраструктура

Необходимо отметить, что ресурсное обеспечение вузовской науки во взаимодействии с практическим опытом российских компаний предусмотрено программой развития научно-образовательных центров (НОЦ) в составе нацпроекта «Наука». До 2024 года планируется открыть 15 таких НОЦ. Пилотные центры уже действуют в Белгородской, Кемеровской, Нижегородской, Тюменской областях и в Пермском крае.

В рамках проекта вместе с научными фондами удалось запустить

грантовые программы поддержки молодежных перспективных исследовательских проектов. А обновление приборной базы научных организаций уже в 2019 году показало результат — создано более 280 новых научных молодежных лабораторий.

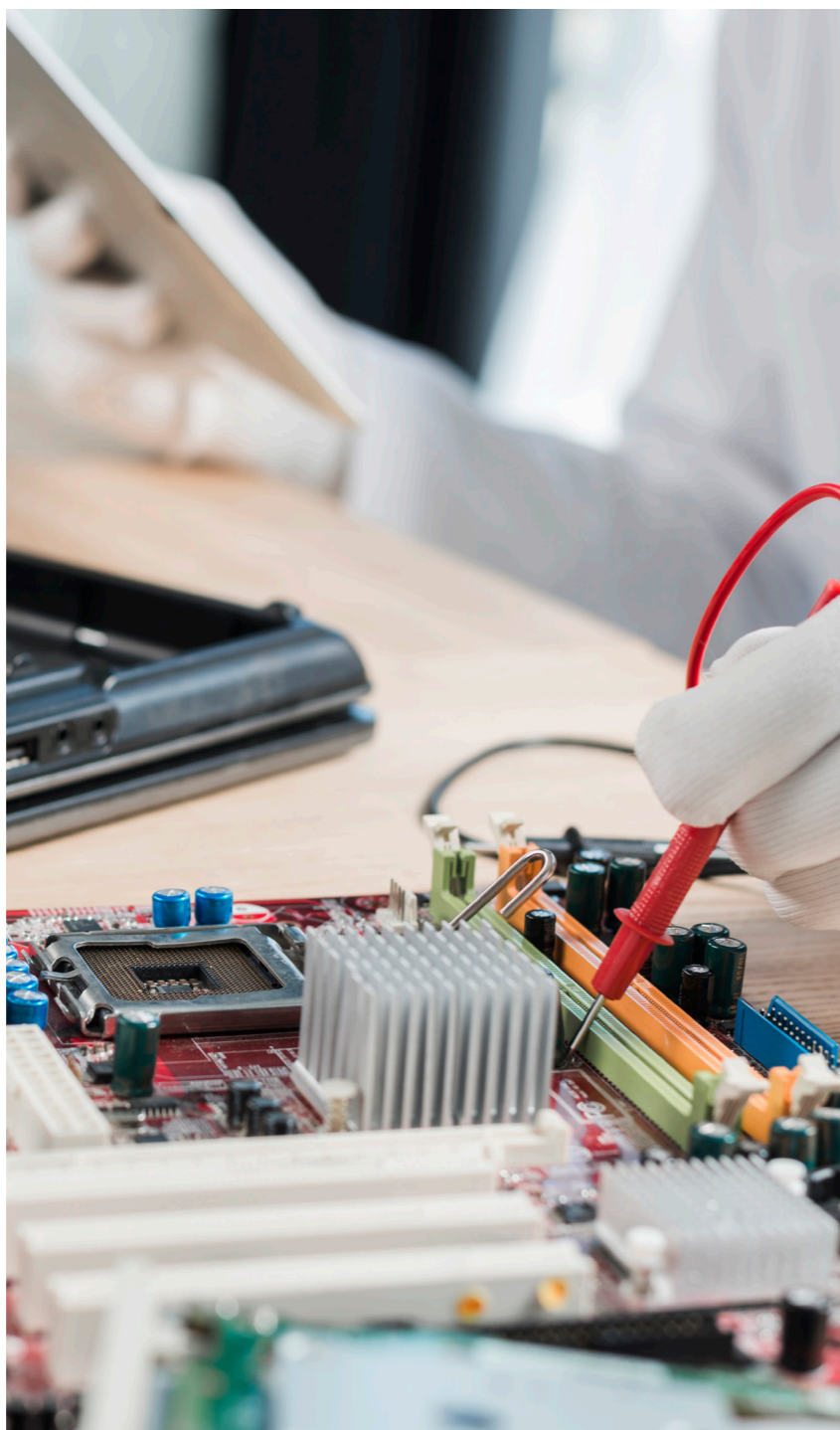
Базовые кафедры

В Москве и многих российских образовательных организациях высшего образования открыты и успешно действуют базовые кафедры предприятий. Такие структурные подразделения, созданные совместно с компанией-партнером, уже практикуют такие лидеры рынка, как, например, «Яндекс», «Газпром», «Лукойл», KPMG, PwC, Сбербанк. При этом обучение на базовых кафедрах ведут как преподаватели, так и специалисты-практики. Например, даже в условиях эпидемии коронавирусной инфекции специалисты холдинга «Росэлектроника» госкор-

порации Ростех приняли активное участие в Дне открытых дверей РТУ МИРЭА, который прошел в онлайн-формате. МИРЭА и холдинг не первый год реализуют совместные проекты в рамках долгосрочного сотрудничества. В университете действуют базовые кафедры входящих в «Росэлектронику» предприятий.

Мероприятия

В то же время, регулярно проводятся такие мероприятия, как ежегодные ознакомительные практики студентов, онлайн стажировки, экскурсии на предприятия. Например, в просветительскую и образовательную деятельность активно вовлечен ПАО «Микрон». Компания активно взаимодействует с крупнейшими образовательными организациями страны, в ведущей профильной образовательной организации высшего образования страны – МИЭТе работает базовая кафедра. Студенты института регулярно проходят практику на предприятии. В 2018 году стартовала всероссийская образовательная программа по микроэлектронике, совместно с БФ «Система», рассчитанная на студентов старших курсов. Сейчас к этой программе активно подключаются крупнейшие образовательные организации страны – УрФУ, ТГУ, ТПУ, АГУ. Программа объединяет образовательные организации с предприятиями и сокращает разрыв между компетенциями, которые получают студенты, и фактическими требованиями работодателей.

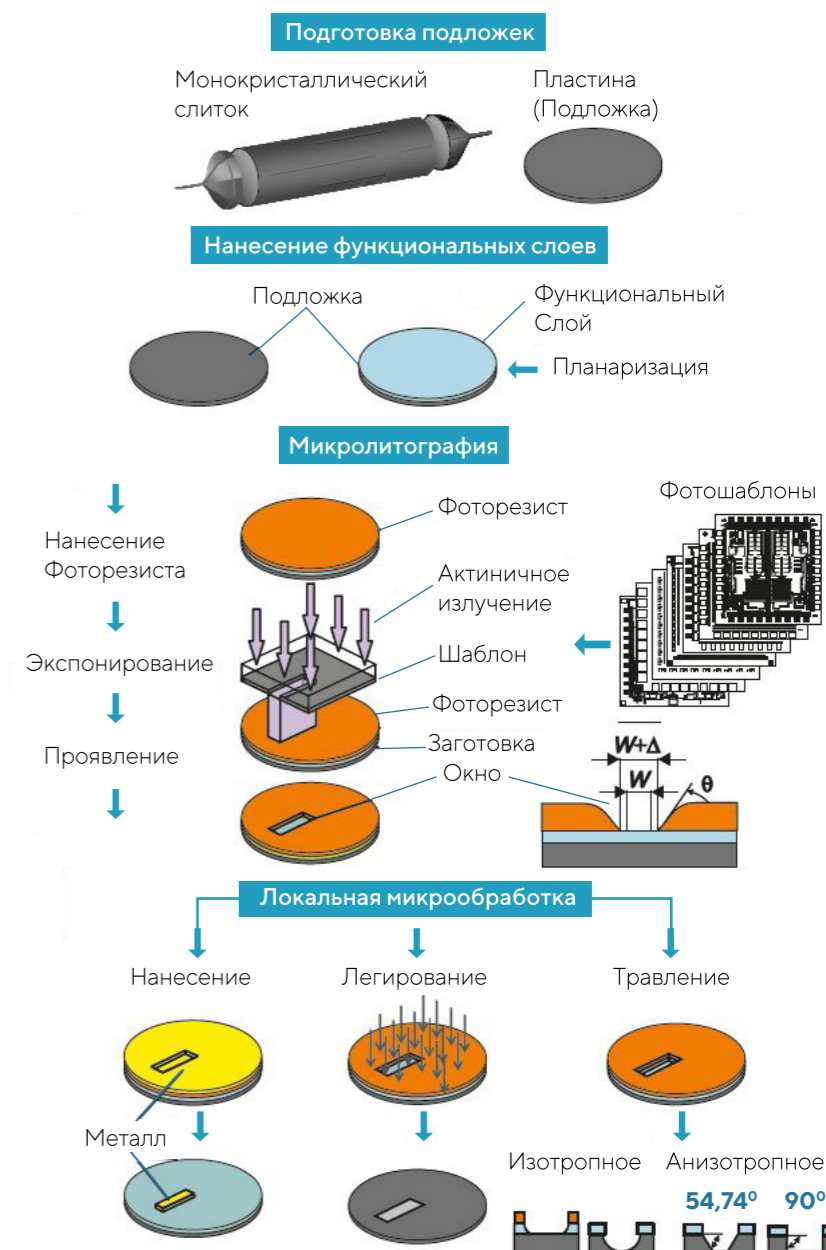


5 Уровень технологического развития отрасли

5.1. Основные технологические цепочки

В микроэлектронике для изготовления микросхем наиболее широко применяется кремний, а также монокристаллы германия, арсенида галлия, сапфира, рубина и другие.

Главной особенностью технологического процесса изготовления микросхем является групповой метод, при котором одновременно обрабатываются несколько подложек, на каждой из которых формируются одинаковые микросхемы. По завершении процесса формирования с помощью специальных зондов, состоящих из набора тонких игл, прижимаемых к контактным площадкам, осуществляют тестирование работоспособности каждой микросхемы. Микросхемы, не прошедшие контроля, отмечаются и отбраковываются. После этого подложку режут на отдельные части, каждая из которых содержит одну микросхему. Затем части монтируют в корпус, соединяют контактные площадки с внешними выводами, герметизируют и маркируют. Для каждого типа микросхем разрабатывается свой технологический процесс. В зависимости от структуры микросхемы общее число технологических операций может достигать 150-200.



Выращивание монокристалла кремния

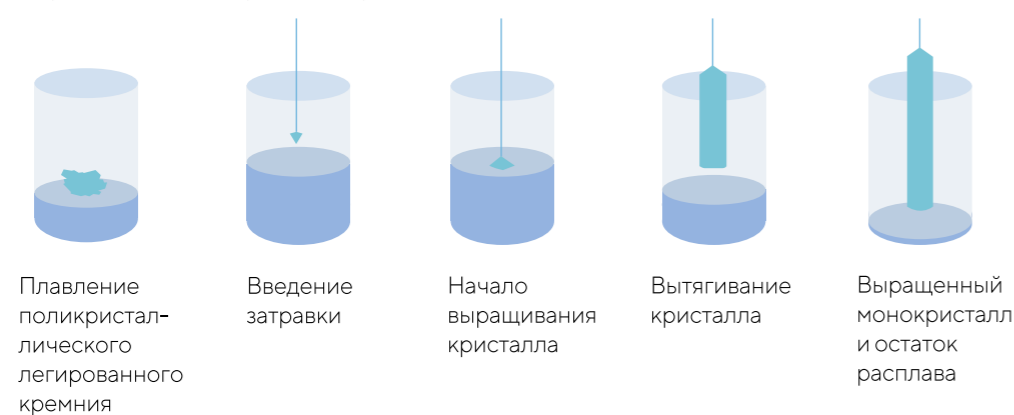


Рисунок 22. Основные технологические цепочки

Выращивание монокристалла

В качестве основы микросхемы используют полупроводниковые монокристаллические пластины. В полупроводниковой промышленности монокристаллы получают в основном методом Чохральского¹² путём вытягивания из расплава кристаллической затравки. Расплав полупроводника смачивает затравку и удерживается на ней за счёт сил поверхностного натяжения. Монокристалл растёт со скоростью до 80 мм/час.

Подготовительные операции

Длина типичного монокристаллического слитка составляют 500-700 мм, а диаметр около 150 мм. К подготовительным операциям относят:

- резку;
- шлифовку;
- полировку;
- травление;
- очистку.

Монокристаллический слиток разрезают на пластины толщиной 0,4-0,5 мм, после чего полученные пластины многократно шлифуют на специальных шлифовальных кругах

для получения толщины в 150-250 мкм и высокой степени параллельности плоскостей пластины. После этого заготовки подвергают механической полировке и травлению или химической полировке. В результате этих операций непараллельность плоскостей пластины составляет 1 мкм на 1 см длины, а высота неровностей — сотые доли микрона. Очистку проводят в органических растворителях, таких как ацетон, этиловый спирт и так далее, при повышенной температуре. Большинство перечисленных процессов на финальной стадии сопровождаются промывкой пластин в деионизированной воде.

Нанесение функциональных слоёв
Эпитаксия

Эпитаксией называется ориентированное наращивание слоёв, кристаллическая структура которых повторяет структуру подложки. Обычно материалы эпитаксиальной плёнки и подложки одинаковы; иногда применяют и разные материалы, но с близкой кристаллической структурой, например, кремний на сапфире. Чаще всего используют

так называемый хлоридный метод. При этом отшлифованные пластины кремния помещают в специальную кварцевую трубу, в которую подаётся смесь газов тетрахлорида кремния (SiCl₄) и водорода. Процесс, протекающий в потоке газа, называется газотранспортной реакцией. В результате этого процесса на поверхности пластин, температура которых благодаря высокочастотному нагреву доходит до 1200°, происходит реакция восстановления. Осаждаясь на подложку, атомы кремния занимают места в узлах кристаллической решётки, благодаря чему растущая плёнка повторяет расположенную ниже структуру. Если необходимо вырастить на подложке слой n-типа, в газовую смесь добавляют фосфин (PH₃), который позволяет легировать плёнки фосфором. При необходимости выращивания слоя p-типа в смесь газов добавляют диборан (B₂H₆), который позволяет легировать плёнку бором. Толщина выращиваемых таким способом плёнок составляет 1-15 мкм.

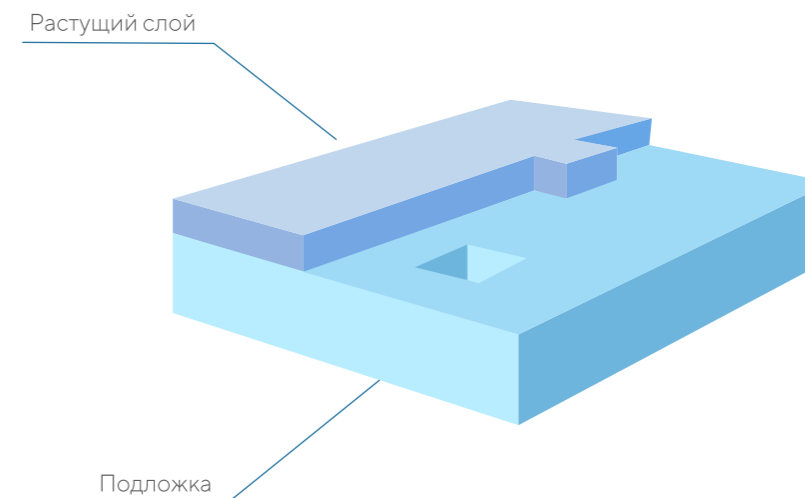


Рисунок 23. Принципиальная схема эпитаксии

Формирование диэлектрических слоёв

В качестве изолирующих слоёв в полупроводниковых микросхемах применяют плёнки оксида или нитрида кремния. Получающиеся при этом слои выполняют разные функции. Например, плёнка диоксида кремния может изолировать затвор МОП-транзистора, играть роль маски, через окна которой осуществляется легирование заданных областей, или защищать выходящие на поверхность пластины вертикальные края p-n-переходов. Существует следующие методы получения диэлектрических плёнок:

1. Термическое окисление проводят в кварцевых печах при температуре 1 000-1 200 °С, подерживаемой с точностью до 1 °С. Этот процесс протекает медленно (в течение нескольких часов) и позволяет получать только тонкие (~1 мкм) плёнки оксида.
2. Химическое осаждение плёнок из парогазовой фазы осуществляется в эпитаксиальных установках при

температуре 400-700 °С и позволяет получать толстые оксидные слои без расходования материала подложки.

3. Химическое осаждение плёнок из водных растворов осуществляется при электролизе в специальных электролитических ваннах, где анодом является проводящая подложка. В процессе электролиза выделяющиеся у анода атомы кислорода вступают в реакцию с материалом анода и создают на его поверхности тонкую оксидную плёнку.

Формирование проводящих слоёв

Проводящие слои используют при формировании резисторов, конденсаторов и для соединения элементов микросхем. Методы нанесения тонких плёнок на подложку и друг на друга:

1. Термическое вакуумное напыление осуществляется в специальных камерах с высоким вакуумом, остаточное давление в которых составляет от 10⁻⁷ до 10⁻¹¹ мм рт. ст. Высокий вакуум необходим для

исключения столкновений молекул напыляемого вещества с молекулами газа и получения плёнок с равномерной толщиной. Под действием высокой температуры, создаваемой при нагреве испарителя электрическим током или с помощью лазерного луча, напыляемое вещество испаряется, а затем конденсируется на поверхности подложки.

2. Катодное напыление основано на разрушении катода при его бомбардировке ионами разреженного газа. Процесс происходит в вакуумной камере, заполненной инертным газом под давлением 10⁻¹ мм рт. ст. В установках катодного напыления место испарителя занимает катод, состоящий из напыляемого вещества, а роль анода отводится подложке. Ускоряемые электрическим полем положительные ионы инертного газа бомбардируют катод и выбивают из него не только электроны, но и нейтральные атомы, которые диффундируют к аноду и оседают на подложке, образуя плёнку. Разновидностью катодного

¹² Метод Чохральского – метод выращивания монокристаллов путём вытягивания их вверх от свободной поверхности большого объёма расплава с инициацией начала кристаллизации путём приведения затравочного кристалла или нескольких кристаллов заданной структуры и кристаллографической ориентации в контакт со свободной поверхностью расплава.

напыления является ионно-плазменное напыление, позволяющее повысить скорость осаждения и качество плёнок.

3. Электрохимическое осаждение представляет собой электролиз растворов, содержащих ионы необходимых примесей. Данный метод позволяет создавать толстые в несколько десятков мкм проводящие плёнки. Катодом здесь служит подложка, а анодом – пластина из того материала, который требуется нанести на неё. Если подложка непроводящая, то предварительно на неё методом напыления наносят тонкий подслоя, служащий катодом.

Микролитография

Литографией называется процесс получения требуемой конфигурации элементов на поверхности подложки. В процессе литографии используют специальные «маски», которые содержат отверстия разной конфигурации. В основе процесса литографии лежит использование наносимых на поверхность кристалла или подложки специальных полимерных материалов, называемых фоторезистами, которые бывают негативными и позитивными. Негативные фоторезисты под действием ультрафиолетового облучения полимеризуются и становятся устойчивыми к воздействию химических

травителей, благодаря чему после локальной засветки будут страиваться только незазвеченные участки. В позитивных фоторезистах ультрафиолетовое облучение ведет к разрушению полимера, поэтому при последующей обработке травителем будут удаляться именно засвеченные участки.

Вначале процесса литографии на пластину наносят позитивный фоторезист, который с помощью центрифугирования распределяют слоем в 1 мкм по всей поверхности и высушивают. Рисунок «маски» изготавливают в виде шаблона – стеклянной пластины, покрытой непрозрачной плёнкой, в которой на месте будущих окон есть прозрачные отверстия. Шаблон накладывают на поверхность фоторезиста и подвергают облучению. После чего в слое фоторезиста образуются отверстия или окна, а сам слой превращается в «маску», плотно прилегающую к оксидному слою кремниевой пластины. Через эту маску производят травление оксидного слоя вплоть до кремния, на который применяемый травитель не действует. В дальнейшем фоторезист удаляется с помощью другого травителя, а в результате получается кремниевая пластина, покрытая оксидной маской. Через «окна» в этой «маске» можно осуществлять травление, ле-

гирование или другие необходимые операции.

При изготовлении микросхем процесс литографии используют 10-15 и более раз. Основной проблемой при этом является точность совмещения фотошаблонов, которую решают методом самосовмещения. В основе этого метода лежит принцип использования структурных элементов, полученных на первых этапах литографии в качестве «масок» для элементов, формируемых на последующих этапах.

Важным параметром литографии является разрешающая способность, которая ограничивается дифракцией излучения, используемого в процессе, и может быть изменена применением излучения с другой длиной волны.

В процессе литографии по поверхности, покрытой резистом, перемещается электронный луч, что позволяет формировать на подложке структуры с минимальным размером до 0,1 мкм, ограничиваемым наименьшим диаметром пучка.

Повышение разрешающей способности, связанное с уменьшением диаметра сканирующего пучка, сопровождается увеличением длительности процесса.

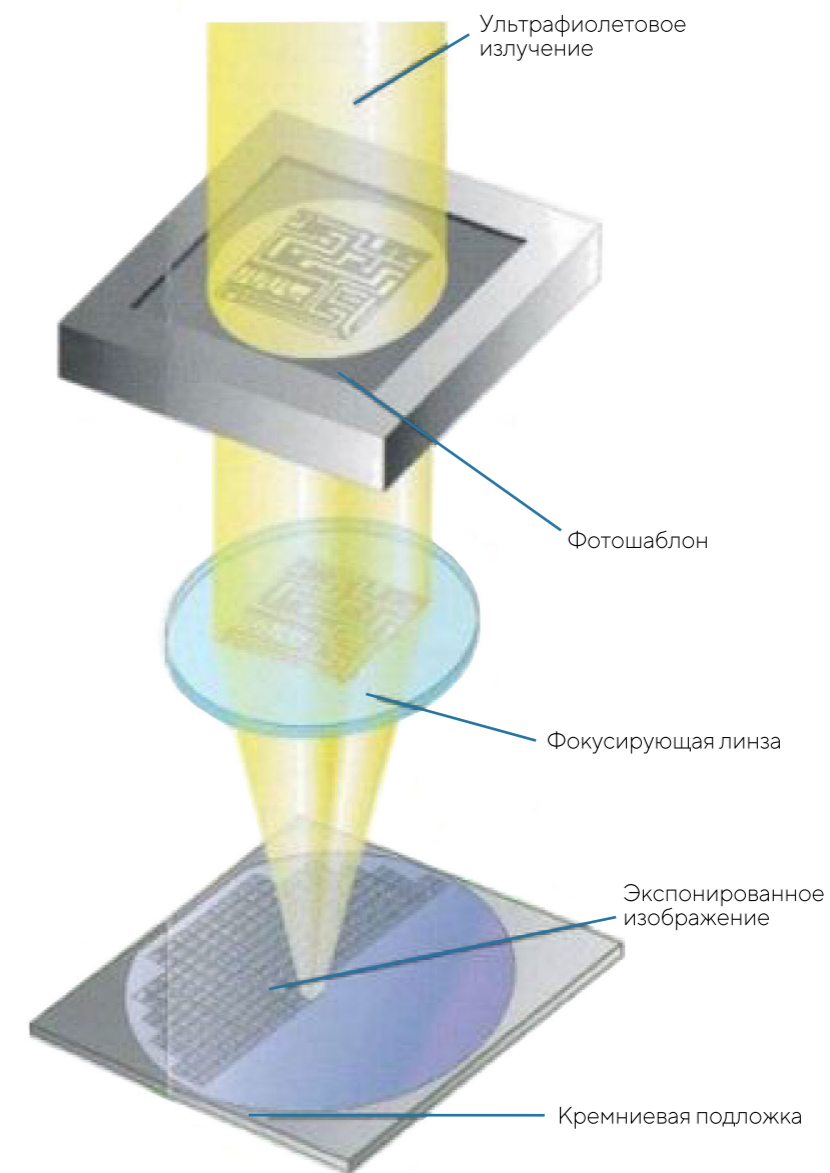


Рисунок 24. Процесс литографии

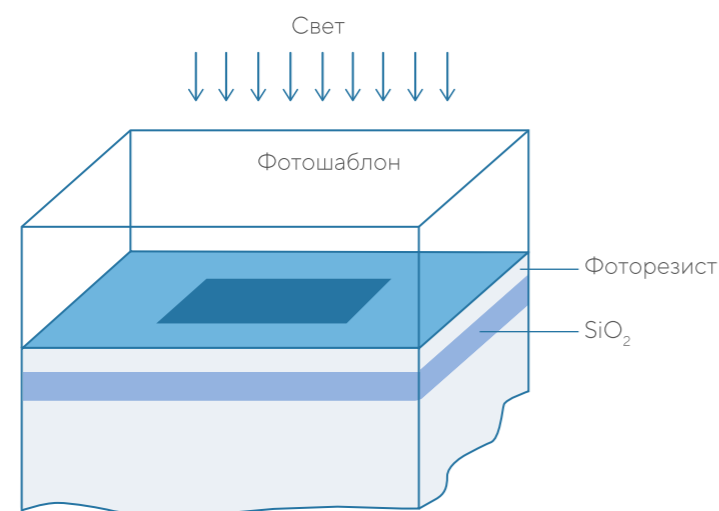


Рисунок 25. Структура кремниевой подложки в процессе литографии

Локальная микрообработка

Легирование

Легированием называется операция введения примесей в подложку или эпитаксиальный слой. Существует два основных метода легирования:

- диффузия;
- ионное внедрение или имплантация.

Оба процесса могут носить общий и локальный характер. В случае общего характера легируется вся поверхность подложки. Если процесс легирования носит локальный характер, то легируются отдельные участки подложки.

Процесс диффузии приводит к образованию на поверхности пластины тонкого диффузионного слоя, который отличается от эпитаксиального неоднородным распределением примеси по глубине. Типичная толщина диффузионного слоя составляет 1-5 мкм. Внедрение примесей происходит при температуре в 1100-1300 в результате газотранспортных реакций аналогично процессам эпитаксии и окисления. Для этого используют

специальные диффузионные печи, в которых температура поддерживается с точностью до десятых долей градуса.

Процесс **ионного внедрения или имплантации** происходит при бомбардировке поверхности ионами примеси, имеющими скорость, достаточную для внедрения в материал подложки или эпитаксиального слоя. Ионизация атомов примеси, ускорение и фокусировка ионного пучка производится в специальных установках, устроенных по типу ускорителей. Глубина внедрения ионов зависит от их энергии и растёт с увеличением последней. Энергию ионов ограничивают интервалом 10-300 кэВ, так как высокоэнергетичные повышают концентрацию радиационных дефектов, что приводит к ухудшению электрофизических характеристик монокристалла.

В отличие от диффузионного метода легирования при ионном внедрении максимальная концентрация внедрённой примеси достигается не на поверхности, а на расстоянии,

соответствующем средней длине свободного пробега ионов, что позволяет получать скрытые слои с необходимым типом проводимости на глубине 0,1-0,5 мкм. Однако в результате ионной бомбардировки кристаллическая структура подложки нарушается, так как в ней появляется большое число радиационных дефектов - вакансий и атомов внедрения, как собственных, так примесных. Для упорядочения кристаллической структуры подложки и уменьшения числа радиационных дефектов пластину подвергают отжигу при температуре 500-800 °С.

Главные преимущества ионного внедрения:

- создание тонких слоёв;
- проведение на любом этапе технологического цикла, что связано с низкой рабочей температурой процесса, которая позволяет проводить легирование без дополнительной диффузии примесей в ранее сформированных слоях.

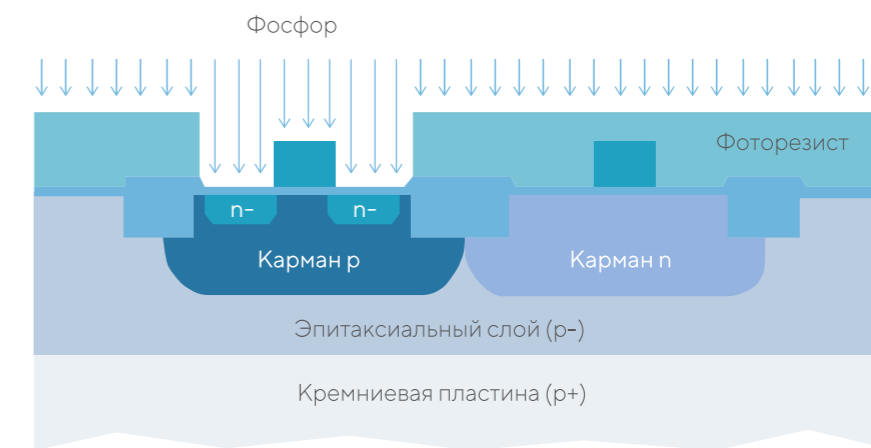


Рисунок 26. Принципиальная схема легирования

Травление

Процесс травления представляет собой немеханический способ изменения рельефа поверхности. Травление применяют для очистки поверхности подложки от загрязнений, удаления окисных плёнок, для создания на поверхности подложки канавок и углублений.

Классический процесс химического травления предполагает протекание химической реакции жидкого травителя с твёрдым телом с образованием растворимого соединения, которое в дальнейшем удаляется с поверхности. Преимущество травления перед механическими операциями состоит в обеспечении прецизионности процесса.

В качестве травителей применяют кислоты или щелочи. Для химической полировки используют смесь азотной (HNO₃) и плавиковой (HF) кислот. Для создания канавок и углублений применяют водные растворы едкого калия или натрия. Для удаления плёнки диоксида кремния используют плавиковую кислоту. Травление проводят для всей поверхности и локально через

отверстия в маске. Локальное травление может быть изотропным и анизотропным. Характерной особенностью изотропного травления является эффект подтравливания, в результате которого площадь вытравленного углубления превышает площадь окна в маске, а его стенки оказываются не вертикальными. Это обусловлено одинаковыми или близкими скоростями протекания соответствующих химических реакций в разных направлениях, из-за чего травление идёт как вглубь пластины, так и под маску.

Анизотропное травление основано на том, что при использовании специальных анизотропных травителей скорость протекания химической реакции зависит от кристаллографического направления. Для кремния травление происходит наиболее быстро в направлении ребра кубической решётки, а в направлении пространственной диагонали скорость травления на порядок ниже. Это позволяет в зависимости от поверхностной кристаллографической ориентации формировать канавки прямоугольной или V-об-

разной формы. Помимо классического процесса травления существует сухое травление, при котором не применяются жидкости. Процесс сухого травления протекает в вакуумных установках в плазме газового разряда. В результате бомбардировки пластины ионами плазмы происходит выбивание атомов с поверхности, благодаря чему слой за слоем производится удаление материала. Энергия ионов в этом процессе значительно меньше энергии частиц при ионном внедрении, поэтому внедрения ионов в глубь материала не происходит.

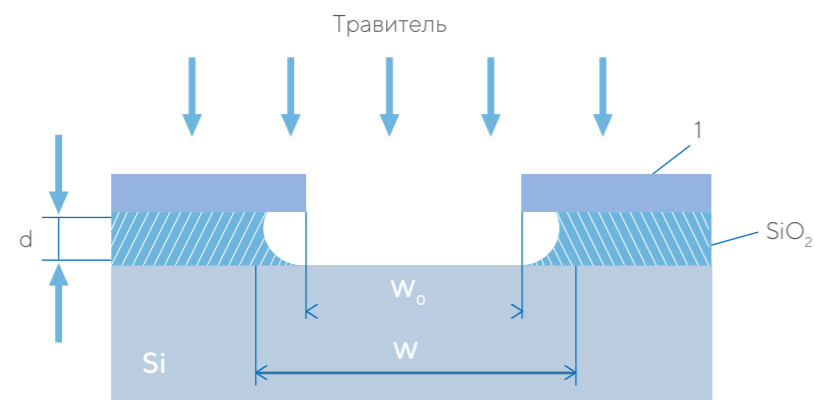


Рисунок 27. Принципиальная схема травления

Виды элементов полупроводниковых микросхем

Активные элементы полупроводниковых микросхем

Активным элементом называют элемент, обладающий свойством преобразования электрической энергии — выпрямления, усиления, генерирования, управления. К ним относятся диоды, транзисторы, тиристоры и т. д.

Основными элементами полупроводниковых микросхем являются биполярные транзисторы p-n-p-типа, имеющие вертикальную структуру, в которой все выводы располагаются в одной плоскости. Они формируются на полупроводниковой подложке p-типа в изолированных от неё локальных областях, называемых карманами. Чаще всего используют изоляцию оксидом кремния и обратно смещённым p-n-переходом. Интегральный транзистор p-n-p-типа имеет структуру, аналогичную структуре дискретного транзистора, при этом вывод коллектора выполнен с той же стороны, что и выводы базы и эмиттера — планарная структура. Для снижения сопротивления коллекторной области внутри неё формируют скрытый и не

имеющий выводов p-слой. В цифровых микросхемах широко применяют биполярные транзисторы с диодом Шоттки, который образуется путём расширения металлического вывода базы в сторону коллекторного слоя, а в области контакта металла с полупроводником возникает выпрямляющий контакт Шоттки, включённый параллельно коллекторному переходу. В полупроводниковых микросхемах в качестве диода используют один или два p-n-перехода транзистора p-n-p-типа, что с технологической точки зрения осуществляется более просто.

Пассивные элементы полупроводниковых микросхем

К пассивным компонентам ИС относятся резисторы, конденсаторы, индуктивности и внутрисхемные соединения. В полупроводниковых микросхемах пассивные элементы создают на основе базовой структуры биполярного p-n-p-транзистора. В качестве резисторов используют объёмные сопротивления эмиттерной, коллекторной или базовой областей транзистора, расположенного в

отдельном кармане. Такие резисторы называют диффузионными, потому что их основу образуют диффузионные слои соответствующих областей транзистора. Помимо диффузионных в полупроводниковых микросхемах используют ионно-легированные резисторы, которые позволяют реализовать высокие удельные сопротивления слоя с технологическим разбросом на уровне ±5 %.

Характерной особенностью любого интегрального резистора является наличие паразитной ёмкости относительно подложки, что ограничивает его рабочий диапазон частот и требует учёта при проектировании микросхем.

В качестве конденсаторов в полупроводниковых микросхемах используют обратно смещённые или закрытые p-n-переходы. У такого конденсатора минимум одна из обкладок представляет собой диффузионный слой, поэтому конденсаторы также называют диффузионными.

5.2. Направления сбыта продукции московских предприятий

Ниже в таблице представлены основные кооперационные связи московских производителей микроэлектроники — направления поставок выпускаемой ими продукции.

Таблица 4. Кооперационные связи московских производителей

Производитель технологии/продукта	Наименование технологии/продукта	Потребитель технологии/продукта
АО «ПКК Миландр	8-разрядные микроконтроллеры	– Аппаратура общего назначения, – Автомобильная техника, – Железнодорожный, водный и воздушный транспорт, – Организация малопроизводительных вычислительных систем, – Устройства совмещения различных типов интерфейсов, – Обработка информации от группы датчиков
	32-разрядные микроконтроллеры	– Авиакосмическая область, – Автомобильная техника, – Железнодорожный, водный транспорт, – Сбор и первичная обработка информации, – Формирование управляющих аналоговых сигналов, – Измерение параметров электрических сетей
	2-ядерные процессоры	
	32-разрядные процессоры ЦОС	– Телекоммуникация, – Радиолокация, – Области, требующие мультипроцессорную систему цифровой обработки данных
	Оперативные запоминающие устройства	– Высокоскоростные системы хранения и обработки информации
	Постоянные запоминающие устройства	– Блоки и устройства памяти общих и специальных вычислительных систем с большими потоками информации
	Интерфейсные микросхемы	– Аппаратура общего назначения в качестве приёмопередатчика по стандарту RS-485, – Организация полудуплексного канала связи по соответствующим стандартам, – Устройства высоковольтной гальванической развязки передаваемых сигналов с использованием внешнего импульсного трансформатора, – Локальные вычислительные сети на основе протоколов IEEE802.3/Ethernet для обеспечения коммутации оконечных устройств внутри сети на основе MAC адресов

Производитель технологии/ продукта	Наименование технологии/продукта	Потребитель технологии/продукта
	Радиочастотные микросхемы	– Устройства и системы узкополосной связи, – Радиолокация, – Системы передачи данных наземного и космического базирования
	Микросхемы управления питанием	– Источники электропитания для различного оборудования
	Микросхемы преобразователей	– Организация инерционных систем сбора высокоточной информации и её обработки, – Использование в малопотребляющих переносных и бортовых системах управления и обработки данных
	Оперативные запоминающие устройства	– Высокоскоростные системы хранения и обработки информации
	Постоянные запоминающие устройства	– Блоки и устройства памяти общих и специальных вычислительных систем с большими потоками информации
	Интерфейсные микросхемы	– Аппаратура общего назначения в качестве приёмопередатчика по стандарту RS-485, – Организация полудуплексного канала связи по соответствующим стандартам, – Устройства высоковольтной гальванической развязки передаваемых сигналов с использованием внешнего импульсного трансформатора, – Локальные вычислительные сети на основе протоколов IEEE802.3/Ethernet для обеспечения коммутации оконечных устройств внутри сети на основе MAC адресов
	Радиочастотные микросхемы	– Устройства и системы узкополосной связи, – Радиолокация, – Системы передачи данных наземного и космического базирования
	Микросхемы управления питанием	– Источники электропитания для различного оборудования
	Микросхемы преобразователей	– Организация инерционных систем сбора высокоточной информации и её обработки, – Использование в малопотребляющих переносных и бортовых системах управления и обработки данных

Производитель технологии/ продукта	Наименование технологии/продукта	Потребитель технологии/продукта
	СВЧ модули	– Системы охраны периметра, – Подсчёт дорожного трафика, – Системы измерения скорости объекта, – Определение дистанции и дальности, – Промышленные датчики
	Импульсные преобразователи	– Организация инерционных систем сбора высокоточной информации и её обработка, – Системы связи и радиолокации, медицинская аппаратура, – Системы обработки изображений, – Ультразвуковая техника и переносная аппаратура с батарейным питанием, – Системы цифровой подстройки усиления и смещения, – Программируемые источники напряжений и токов, – Программируемые аттенюаторы и генераторы частоты
	Программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС)	– Устройства цифровой обработки сигналов, – Устройства высокоскоростной передачи данных, – Устройства обработки радиолокационных данных, – Цифровая видео- и аудиоаппаратура, – Интегральные схемы специального назначения
	Полупроводниковые и гибридные сверхбольших интегральные схемы (СБИС)	– Гражданская техника и военная техника, – Разработка экспертных систем, – Обработка графических изображений, – Системы децентрализованных вычислений, – Лазерная и волоконно-оптическая техника
ПАО «Микрон»	Комплексное RFID-решение (метка W1098/1A1)	– Завод-производитель алкогольной и безалкогольной продукции
	RFID- маркировка меховых изделий в целях борьбы с незаконным оборотом продукции	– АО «Гознак»
	Микросхемы первого уровня	– АО «НСПК»
	RFID-систем идентификации	– Производство микроэлектроники
	Радиочастотные метки HF диапазона	– Рослесхоз, – Правительство Иркутской области
	«Умная» этикетка с интегрированной RFID-меткой	– Miller
	Чип для карты «Мир»	– АО «НСПК»
	Однокристалльный чип MIK51AB72D	– АО «Гознак»
	Модифицированный кристалл для RFID-билетов	– ГУП «Московский метрополитен»
	RFID-метка	– ООО «НПК Пожхимзащита»
RFID ключи для камер хранения на ж/д вокзалах	– РЖД	

Производитель технологии/ продукта	Наименование технологии/продукта	Потребитель технологии/продукта
АО «НИИМА «Прогресс»	Модуль контроля и управления электропитанием	– Авиационное двигателестроение, – нефтегазовая отрасль, – химическая отрасль
	Модуль DC-DC преобразования	
	Микромощная СВЧ МИС МШУ L-диапазона	– Аппаратура спутниковой связи и навигации, – радиолокация, – бытовые приборы
	СВЧ МИС дискретного аттенюатора L-диапазона	– Аппаратура спутниковой связи и навигации, – радиолокация,
	СВЧ МИС дискретного фазовращателя L-диапазона	– Аппаратура спутниковой связи и навигации, – радиолокация, – бытовые приборы
	СБИС ЦПП-ЛСН К1917ВС014	– Аппаратура базовых станций и абонентских терминалов локальной системы навигации
	K5200MX014	– Аппаратура базовых станций и абонентских терминалов локальной системы навигации, – Аппаратура для приёма и передачи сигналов в диапазоне частот 0,1 – 2,5 ГГц и шириной спектра полезного сигнала 50 кГц или 1,25 – 2,5 МГц
	СБИС К511НВ015	– Аналого-цифровые преобразователи дифференциальных аналоговых сигналов
	1917ВА04Н4 и 5200МХ04Н4	– Цифровая обработка сигналов спутниковых систем навигации ГЛОНАСС (L1 ПТ, ВТ) и GPS (L1 С/А)
	СБИС СвК для приемника ГНСС К1917ВА014	– Навигационная аппаратура гражданского назначения
	Цифровые СБИС 1909ФП1Ф	– Устройства вторичной обработки слабых сигналов
	Базовый кристалл 5539ТР026	– Для создания на их основе нового поколения комплексных систем управления полётом (КСУП) пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов с применением разнородных каналов связи
	Базовый кристалл 5539ТР016	
АО НПЦ «ЭЛВИС»	Процессоры «Мультикор»	– Управление и высокоточная обработка информации, включая сигналы и изображения в реальном времени
	Радиационно-стойкие микросхемы	– Бортовая аппаратура различного назначения, – системы управления, – бортовые коммуникации и ЦОС, – радиоэлектронная аппаратура (РЭА) космических аппаратов, – аппаратура комплексов связи

Производитель технологии/ продукта	Наименование технологии/продукта	Потребитель технологии/продукта
	Четырехканальный цифровой SDR-приемник 1288ХК1Т	– Построение приёмных трактов систем радиосвязи и радиолокации
	Цифровой вычислительный синтезатор 1508ПЛ8Т	– Синтез прямоугольных и гармонических немодулированных и модулированных сигналов в полосе частот до 350 МГц (квадратурных сигналов в полосе частот до 700 МГц), используемых в системах связи и радиолокации
	Синтезатор частот на основе ФАПЧ 1508ПЛ9Т	– Синтезаторы несущих и гетеродинных частот, – Синтезаторы сигналов приемопередающих устройств радиолокационных и связанных комплексов в VHF, UHF, L, P и S диапазонах
ЗАО НТЦ «Модуль»	СБИС 1879ВМ8Я	– Видео обработка, – Гидро- и радиолокация, – 3D машинное зрение, – Нейросети, – Гетерогенные вычислительные системы
	СБИС 1879ВМ6Я	– Обработка широкополосных радиолокационных сигналов, – различные виды цифровой фильтрации, – преобразования Фурье, Адамара и прочее, – Обработка изображений (включая различные виды фильтрации и MPEG кодирование и декодирование), – Навигация, – Высокопроизводительная коммутация сигналов, – CDMA и TDMA базовые станции сотовой связи
	СБИС 1879ВМ5Я	– Обработка видеоизображений, – Навигационные приемники, – Векторно-матричные вычислители
	СБИС К1879ХБ1Я	– Телевизионные приставки (Set-top box) стандартной и высокой чёткости, – Цифровые телевизионные приемники для приема сигналов наземного, спутникового и кабельного вещания, – Цифровые мультимедийные устройства
	СБИС 1888ВС048	– Для встраиваемой аппаратуры
	СБИС 1888ТХ018	– Бортовые управляющие машины
	СБИС К1879ВЯ1Я	– Научное оборудование (Scientific market), – Спектрометрия (ЯМР спектроскопия), – Медицинское оборудование, – ЯМР томография, – Беспроводная связь, – Приёмники цифрового радиовещания DRM, – Встраиваемые системы (Embedded Systems), – Промышленное оборудование (Industrial), – Аппаратура пользователя (НАП) спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/ GPS/ GALILEO/ COMPASS

Производитель технологии/ продукта	Наименование технологии/продукта	Потребитель технологии/продукта
	СБИС K1888BC018	– Высокоточные многосистемные программируемые навигационные приемники ГЛОНАСС/ GPS/ GALILEO/COMPASS с числом каналов от 256, – Приёмники цифрового радиовещания (ЦРВ), – Другие задачи цифровой обработки сигналов
	БИС 1879BA1AT	– Авиационная, космическая и специализированная аппаратура различного функционального назначения
	БИС 1920BK014	– Бортовая радиоэлектронная аппаратура
АО «МЦСТ»	Вычислительный модуль «Е4С/СОМ»	– ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука»
	Модуль процессорный «МП-18»	
	Модуль процессорный «МП-16»	
	Центральный процессор «R2000»	– ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука», – DEPO Computers, – Крафтвэй, – НИПОМ, – НИЦЭВТ, – Скан Инжиниринг Телеком, – Smart Engines, – МГТУ Станкин, – Эльбрус-2000, – Аладдин Р.Д., – НПЦ Аквамарин, – РСК, – FASTWEL, – Адвантикс, – ООО «Яхонт»
	Центральный процессор «Эльбрус-8СВ»	
	Центральный процессор «Эльбрус-8С»	
	Центральный процессор «Эльбрус-1С+»	
	Контроллер периферийных интерфейсов «КПИ-2»	
Контроллер периферийных интерфейсов «КПИ»		
Центральный процессор «R1000»		

Производитель технологии/ продукта	Наименование технологии/продукта	Потребитель технологии/продукта
АО «НИИМЭ»	Услуги в области прототипирования ИС	– Дизайн-центры
ООО «КМ211»	Универсальный 32-разрядный микроконтроллер «Мастер кролик»	– Микроконтроллеры общего назначения, – Встраиваемые системы, – Смарт-карты, – Банковские карты, – SIM-карты, – Идентификация личности и паспортно-визовые документы, – Бесконтактные метки для товаров, – Модули безопасности, – Контроль доступа, транспорт, – Автомобильная электроника, – Системы управления реального времени (Free RTOS), – Портативные устройства, – Ультранизкопотребляющие микросхемы
	Микропроцессор общего назначения «Мастер кварк»	– Портативные устройства, – Цифровая обработка сигналов, мультимедиа, – Защита каналов передачи данных, – Промышленные системы управления, системы управления сигналами, – Автомобильная промышленность, – Военное применение, авионика, – Медицинская аппаратура
АО «Ангстрем»	Микроконтроллер Интеллектуальной карты K65004ve1	– Банковские карты, – Электронные платежи, – Защищённые средства идентификации, – Контроль доступа
	RFID-микромодули для электронных ключей	– Государственная Дума
	Радиационно-стойкая микросхема высоковольтного 32-Канального мультиплексора аналогового сигнала 5023KH015	– Промышленная и специальная аппаратура высокой стойкости, современные системы, использующие десятки датчиков, отслеживающие параметры внешней среды
	RFID-чип для маркировки знаков государственной регистрации транспортных средств	– Госавтоинспекция Министерства внутренних дел России, – Государственный надзор за техническим состоянием самоходных машин и других видов самоходной техники Министерства сельского хозяйства России, – Таможенные органы России
	RFID-метка для животных	– Министерство сельского хозяйства России, – Производители мяса и молока
	RFID-метка	– АО «Гознак»

Источник: Открытые данные предприятий

5.3. Тенденции развития технологий в отрасли

5.3.1. Новые материалы

Основным драйвером развития микроэлектроники в мире является применение новых материалов, из которых изготавливают электронные компоненты. Для поддержания и совершенствования передовых технологий необходимы решения с использованием новых материалов:

- пиролитического нитрида бора (PBN);
- нитрида галлия (GaN);
- арсенида галлия (GaAs).

Пиролитический нитрид бора (PBN) представляет собой высококачественную керамику с высокой химической

инертностью и прочностью при высоких температурах. Также он отличается минимальной пористостью изделий. Благодаря хорошей теплопроводности и низкому коэффициенту термического расширения пиролитический нитрид бора используется в тиглях для производства составных полупроводников и в молекулярно-лучевой эпитаксии.

Нитрид галлия (GaN) используется в качестве материалов с широкой запрещённой зоной для силовых и сверхвысокочастотных полупроводниковых изделий. Нитрид-гал-

лиевые гетероструктуры обладают физическими свойствами, которые обеспечивают высокие оптические, мощностные и частотные характеристики. Это позволяет применять их в разных областях полупроводниковой электроники.

Арсенид галлия (GaAs) поставляется в виде слитков или пластин с двумя различными проводящими типами полупроводниковыми и полупроводниковыми пластины GaAs легируются различными элементами.

5.3.2. Перспективные технологии и разработки

К приоритетным направлениям развития технологии/разработок можно отнести следующие:

1. Технология Gate All Around (заменит FinFET¹³). Транзисторы FinFET могут быть изготовлены по 4-нм и 5-нм техпроцессам, но при изготовлении транзисторов по 3-нм их структуры оказываются малы для оперирования, а управляющее напряжение недостаточно низким, чтобы транзисторы выполняли свои функции в FinFET. Для оперирования на 3-нм техпроцессе требуется изготовление транзисторов с кольцевыми или всеохватывающими затворами GAA (Gate-All-Around). Переход к кольцевым затворам позволит увеличить энергоэффективность новых транзисторных структур, понизив

напряжение питания транзисторов. Транзистор GAAFET¹⁴ аналогичен транзистору FinFET, за исключением того, что материал затвора окружает область канала со всех сторон, и в зависимости от конструкции полевые транзисторы с кольцевыми затворами могут иметь два или четыре эффективных затвора.

2. Технологии 3D сборки кристаллов В настоящее время существуют три основных способа объёмной сборки кристаллов:

- Интеграция готовых изделий (2.5D). Реализуется путём сборки полностью обработанных и тестированных автономных кристаллов методом перевёрнутого кристалла (flip chip) и разварки проволочных

выводов. К 3D-микросхемам этого типа относятся трёхмерные сборки в корпус (system-in-Package, SiP), формируемые интеграцией ультратонких кристаллов и разваркой их проволочных соединений, а также сборки типа «корпус на корпусе» (package-on-package, PoP), получаемые путём интеграции SiP-модулей памяти и логики с помощью слоев межсоединений и разварки контактов корпусированных модулей. При этом габариты корпуса соответствуют размеру подложки (wafer level package, WLP). Благодаря стандартизации площади корпусов памяти в верхнем слое PoP-системы можно располагать модули памяти различных производителей. При этом схемы памяти монтируются в верхнем слое путём разварки проволочных выводов, тогда как логические

устройства в нижнем слое всё чаще монтируются методом перевёрнутого кристалла с использованием медных контактов.

- Формирование 3D транзисторных структур на кристалле. При создании таких трёхмерных структур транзисторы изготавливаются следующими способами:
 - между слоями межсоединений в плёнке рекристаллизованного кремния, для получения которого проводится лазерный нагрев или быстрый термический отжиг участка осаждённого на пластину аморфного кремния. Трёхмерные структуры транзисторов могут использоваться в качестве повторителей для межсоединений на кристалле или сигнальных усилителей для оптиче-

ских межсоединений;

- послойно в плёнках поликристаллического кремния, получаемых осаждением аморфного материала поверх слоя с готовыми транзисторными структурами и его последующего лазерного нагрева или быстрого отжига для получения поликремния. Соединения приборов выполняются с помощью вольфрамовых межслойных сквозных отверстий. Такие структуры перспективны для создания энергонезависимой памяти с невысокой пропускной способностью;
 - послойно в плёнках монокристаллического кремния. Слой монокристаллического кремния переносится с КНИ-пластины на оксидную поверхность слоя с готовыми транзисторами. Промежуточные

сквозные отверстия заполняются поликремнием или вольфрамом. Такие структуры пригодны для создания высокоплотных ОЗУ (NV SRAM) и флеш-памяти NAND-типа.

- Формирование 3D структур на пластине в ходе конечных операций обработки (back-end-of-line, BEOL). Процесс интеграции пластин, совместимый с конечными операциями обработки, выполняется соединением пластин и реализацией TSV-межсоединений. Этот метод позволяет объединять пластины из различных материалов, содержащих различные функциональные элементы, выполненные по различным технологиям, то есть осуществлять гетероинтеграцию микросхем.

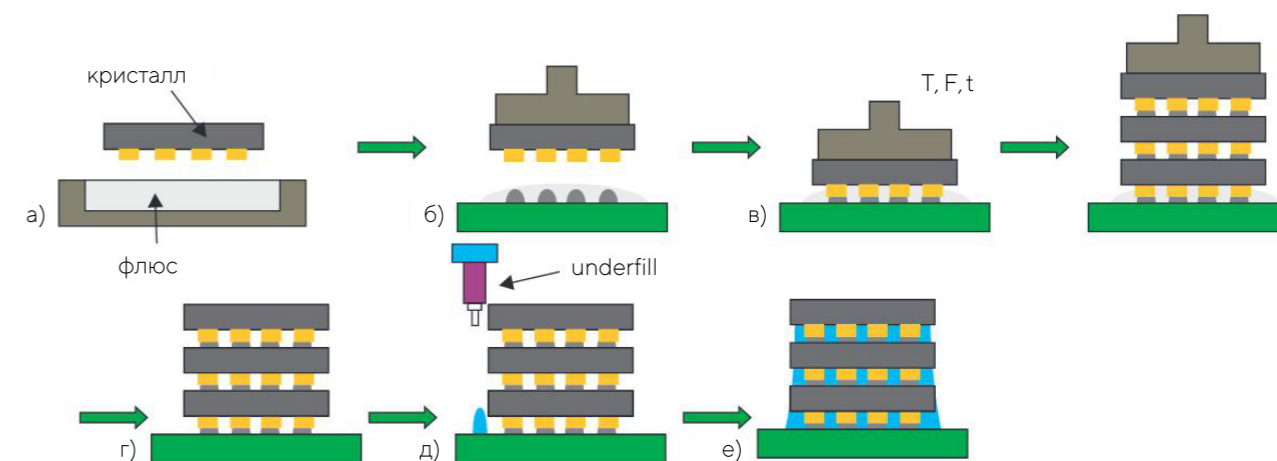


Рисунок 28. Принципиальная схема технологии 3D сборки

а) погружение компонента во флюс; б) позиционирование компонента; в) оплавление; г) удаление остатков флюса; д) заполнение компаундом зазора между компонентом и основанием корпуса; е) сушка.

¹³ FinFET (плавниковый полевой транзистор) представляет собой металл-оксидный полупроводниковый транзистор, который имеет структуру с двойным или тройным затвором. Это обеспечивает быструю работу, большую плотность тока, снижает требования к напряжению. Всё это делает конструкцию FinFET более энергоэффективной по сравнению с транзисторами традиционной конструкции.

¹⁴ англ. Gate-all-around field-effect transistor.

3. Контактные линзы с искусственной радужной оболочкой для борьбы с недостатками человеческого глаза. В полностью искусственной радужной оболочке переменная диафрагма реализована с помощью четырех концентрических колец разного диаметра на ЖК-дисплее со встроенной линзой. Для управления диафрагмой, а также для работы датчика моргания, датчика освещенности и соответствующей вычислительной логики применяется встроенный источник питания, зарядка которого происходит посредством NFC модуля после снятия линз для хранения.

4. Bio-Pill с двунаправленным беспроводным интерфейсом. Беспроводная система био-молекулярного зондирования на основе мультиплексной флуоресценции в форме таблеток для мониторинга состояния здоровья. Кремниевый чип объединяет датчик и беспроводную систему, включая беспроводной приёмник ULP мощностью 124 мкВт с чувствительностью -59 дБм, двухрежимный передатчик FSK / OOK и матрицу флуоресцентных датчиков с 1,6 аттомолями и пределом обнаружения целевой ДНК 100 пМ на пиксель.

5. Система на кристалле со встроенными модулями 5G и тензорными процессорами. Тензорный процессор — это разновидность нейронной микросхемы, оперирующей особыми объектами (тензорами), и рассчитанной на выполнение узкого круга математических операций. Он может быть использован при детектировании и классификации изображений, по-

иске объектов, повышении качества изображений и в других сферах. Тензоры также применяются в машинном обучении, а именно в «глубоком обучении». Его смысл сводится к обработке огромных наборов данных в гигантских массивах, называемых нейронными сетями. Соединениям между различными значениями данных задаётся определённый вес — число, выражающее важность конкретного соединения. Поэтому, когда требуется разобраться, как взаимодействуют все эти сотни или тысячи соединений, необходимо умножить каждый элемент данных в сети на все возможные веса соединений — перемножить две матрицы.

6. Специализированная микроэлектроника для квантовых вычислений, нейронных сетей и ИИ. В индустрии микро и наноэлектроники появляется все большее число специализированных устройств и технологий разработанных специально для осуществления квантового превосходства, а также массового внедрения нейронных сетей (машинное обучение и ИИ). К передовым устройствам и технологиям такого типа можно отнести:

- Криогенный сверхпроводящий 4-кубитный процессор.
- Транзисторы FD-SOI Tech, которые работают при криогенных температурах, для квантовых вычислений.
- Монолитная трехмерная интеграция массива энергонезависимой памяти RRAM для целей вычислений нейронной сети и ИИ. 3D сборки RRAM с транзисторами доступа на основе индия, галлия и цинка (IGZO) собранные в трехмерном стеке продемонстрировали базовую функциональность вычислений

в памяти трехмерной нейронной сети для приложений искусственного интеллекта. Трехмерные нейронные сети, построенные на этой архитектуре, имеют высокий потенциал для обеспечения эффективных вычислений с низким энергопотреблением и сверхмалой задержкой.

7. Использование фтора в органических полупроводниках для создания ультратонких и гибких экранов. При добавлении фтора в органические материалы, они лучше проводят сигнал и ярче светят. Полученные результаты можно использовать для дизайна новых органических полупроводников и производства лазеров, а также более ярких гибких экранов. Гибкая электроника — технология сборки электронных схем путем установки ее элементов на гибкую пластиковую подложку, выполненную из полиимидов, полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) или прозрачной проводящей полиэфирной пленки. Также гибкие схемы могут быть напечатаны на трафаретах из серебра или полиэфиров. Сборка гибких микросхем может происходить с использованием тех же компонентов, что и для их жестких аналогов, позволяя придать плате желаемую форму или гибкость при работе. В качестве альтернативного способа производства предлагаются различные методы травления на обычной кремниевой подкладке толщиной в несколько десятков микрометров для достижения необходимой гибкости. Гибкие печатные схемы (ГПС) делаются с использованием технологии фотолитографии. Еще одним способом производства гибких схем или шлейфов является нанесение полос

с очень тонким (0,07 мм) слоем меди между двумя слоями ПЭТ (полиэтилентерефталата). Эти слои, часто не превышающие 0,05 мм в толщину, покрываются вязкими веществами, представляющими собой реактопласты, активирующиеся вовремя ламинирования.

5.4. Оценка уровня технологического развития отрасли

5.4.1. Размерность технологического процесса

«Размерность» технологического процесса определяет размер транзисторов и степень интеграции элементов на полупроводниковом кристалле. Современные микросхемы несут сотни миллионов транзисторов в одном кристалле, а многоядерные процессоры миллиарды, причём размер индивидуальных компонентов составляет всего десятки нанометров.

Изменение числа элементов интегральной схемы в XX веке происходило по «закону» Мура¹⁵, согласно которому количество транзисторов удваивалось примерно каждые 24 месяца. Вместе с тем росло потребление энергии для перемещения электронов в высокоскоростных устройствах, и расходы на «чистое» производство, усугублялись проблемы теплоотвода и топологии. Пределом развития стало межатомное расстояние — 0,3 нм, миниатюризация не бесконечна. Дойдя до нанометровых техпроцессов, микроэлектроника стала наноэлек-

троникой. Производители микроэлектроники столкнулись с так называемым размерным порогом, когда дальнейшее уменьшение кремниевых компонентов ограничивается рядом препятствий:

- возможностями литографии;
- неравномерным распределением примесей в микрокластерах полупроводника;
- проявлением квантовых свойств электрона.

Изменение физических свойств полупроводников при уменьшении размеров до нескольких нанометров приводит к нарушению работы традиционных транзисторов, использующих закономерности поведения электрона как частицы, а не волны. Однако именно волновые, квантовые, закономерности выходят на первый план в нанометровом масштабе.

Обозначения для техпроцессов, внедрённых начиная с середины 1990-х годов, были стандартизованы

ITRS¹⁶ и стали называться «технологический узел» (англ. technology node) или «цикл» (англ. cycle). Размеры транзисторов перестали линейно зависеть от технормы из-за физических ограничений. Чем меньше нанометров заявлялось в техпроцессе, тем слабее это сказывалось на реальных размерах элементов.

Нанометровые техпроцессы:

1. 350 нм — техпроцесс, соответствующий уровню технологии, достигнутому в 1995–97 годах. Соответствует линейному разрешению литографического оборудования, примерно равному 0,35 мкм.
2. 250 нм — техпроцесс, соответствующий уровню технологии, достигнутому в 1998 году. Соответствует линейному разрешению литографического оборудования, примерно равному 0,25 мкм. Используется до 6 слоёв металла, минимальное количество литографических масок — 22
3. 180 нм — техпроцесс, соответствующий уровню технологии, достигнутому в 1999 году. Соответствует

¹⁵ Эмпирическое наблюдение Гордона Мура, основателя компании Intel

¹⁶ Международный план по развитию полупроводниковой технологии (англ. international technology roadmap for semiconductors, ITRS) — набор документов, выпускаемый группой экспертов полупроводниковой промышленности.

удвоению плотности размещения по отношению к предыдущему техпроцессу 0,25 мкм. Впервые используются внутренние соединения на основе медных соединений с меньшим сопротивлением, чем у ранее применявшегося алюминия. Содержит до 6–7 слоёв металла. Минимальное количество литографических масок — около 22.

4. 130 нм — техпроцесс, соответствующий уровню технологии, достигнутому в 2001 году. Соответствует удвоению плотности размещения элементов по отношению к предыдущему техпроцессу 0,18 мкм.

5. 90 нм — техпроцесс, соответствующий уровню полупроводниковой технологии, которая была достигнута к 2002–2003 годам. Соответствует удвоению плотности размещения элементов по отношению к предыдущему техпроцессу 0,13 мкм. Технологический процесс с проектной нормой 90 нм используется с технологиями напряжённого кремния, а также с диэлектрическими материалами с низкой диэлектрической проницаемостью.

6. 65 нм — техпроцесс, соответствующий уровню технологии, достигнутому к 2004 году. Соответствует удвоению плотности размещения элементов по отношению к предыдущему техпроцессу 90 нм.

7. 45 нм и 40 нм — техпроцесс, соответствующий уровню технологии, достигнутому к 2006–2007 годам. Соответствует удвоению плотности размещения элементов по отношению к предыдущему техпроцессу 65 нм. Для микронной промышленности стал революционным, так как это был первый техпроцесс, использующий технологию high-k/metal gate, предусматривающей использование диэлектриков с высоким значением диэлектрической постоянной и металлических затворов.

8. 32 нм — техпроцесс, соответствующий уровню технологии, достигнутому к 2009–2010 годам. Соответствует удвоению плотности размещения элементов по отношению к предыдущему техпроцессу 45 нм.

9. 22 нм — техпроцесс, соответствующий

уровню технологии, достигнутому к 2009–2012 гг. Соответствует удвоению плотности размещения элементов по отношению к предыдущему техпроцессу 32 нм. 22-нм элементы формируются путём фотолитографии, в которой маска экспонируется светом с длиной волны 193 нм.

10. 6 нм. Позволяет повысить плотность упаковки элементов микросхем на 18 %, данный техпроцесс является более дешёвой альтернативной техпроцессу 5 нм, так как он позволяет легко масштабировать топологии, разработанные для 7 нм.

11. 5 нм. Переход на эту технологию позволяет повысить плотность упаковки электронных компонентов на 80 % и повысить быстродействие на 15 %.

12. 3 нм. Исследовательский центр imec (Бельгия) и компания Cadence Design Systems создали технологию и в начале 2018 года выпустили первые пробные образцы микропроцессоров по технологии 3 нм.

Уровень автоматизации на предприятиях микроэлектроники равен 100 %, а уровень экологичности — близок к 100 %. Стопроцентная автоматизация и экологичность от получения слитка чистого кремния до упаковки готовой микросхемы достигаются за счёт использования современного программного обеспечения и автоматизированного оборудования с исключением ручного труда, так как современные технологические процессы оперируют на нанометровом уровне и требуют

максимально чистой среды.

Чистые комнаты

Специфика современного производства микроэлектронных компонентов требует соблюдения очень высоких требований к чистоте воздушной среды в ходе технологического процесса.

Для микроэлектроники порог чувствительности изделий к различного рода загрязнениям значительно ниже, чем для других отраслей промышленного производства. Современные технологические операции проводятся почти на молекулярном уровне, а с точки зрения физики процесса работа изделия зависит от чистоты материала, измеряемой на уровне — один атом примеси на триллион атомов основного вещества. Подобные концентрации не воспринимаются в других областях производства.

Критическими загрязнителями производственной среды являются частицы и следы примесей различных металлов — Na, K, Ca, Fe, Ni, Cr, Cu и Zn. Эти загрязнения вызывают повреждения изделий, снижают уровень эффективности их работы и выход годных изделий. Например, частица размером около 0,5 мкм может влиять на адгезию покрытия на пластине или чипе.

Чтобы повысить выход годных изделий и уменьшить производственные дефекты используют чувствительные приборы контроля окружающей среды.

Чистые производственные помещения представляют собой изолированные пространства для запуска технологических процессов, где влияние внешней среды в виде рассеянных в воздухе микрочастиц и микроорганизмов сводится к

минимуму.

В чистых зонах полупроводникового производства помимо концентрации аэрозольных частиц контролируют температуру, относительную влажность, воздушные молекулярные загрязнения и статическое электричество.

Применение чистых помещений в микроэлектронике позволяет добиться высокого качества микросхем, повысить их надёжность и снизить количество брака.

Производственные модели

В настоящее время в производстве электронной компонентной базы выделяют три организационные модели.

1. IDM (Integrated Device Manufacture)

Модель полного цикла изготовления изделия в рамках одного предприятия сдаёт свои позиции по всему миру, за исключением нескольких корпораций-гигантов, таких как Intel, и большинства московских предприятий. В российской терминологии организации микроэлектронного производства к модели IDM ближе всего по значению понятия «научно-технологический комплекс».

2. Фаблесс-модель (модель без фабрики)

Это модель, при которой компания-производитель микросхем специализируется только на разработке, проектировании и продаже изделий, но не имеет собственных производственных мощностей. Одним из основоположников такого подхода стала компания Xilinx, образованная в 1984 и контролирующая сегодня половину мирового рынка ПЛИС. В отечественной терминологии фаблесс-модель чаще всего звучит как «дизайн-центр» или «ди-

зайн-центр кристального уровня».

3. Фаундри-модель (кремниевая мастерская)

Это модель, при которой компания не занимается проектированием или продажей конечных изделий, а концентрируется на изготовлении полупроводниковых пластин с элементами и компонентами и последующим их тестированием. Первой в мире принято считать тайваньскую компанию TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Corporation), основанную в 1987 г. В отечественной терминологии такая модель чаще всего звучит как калька с английского — «фаундри».

Смена приоритетов и отказ от итерационного подхода модели IDM, заключающегося в многоэтапной взаимной отработке новых конструктивно-технологических решений на каждом этапе разработки, и переход к внедрению некоторого отработанного ранее набора унифицированных технологий производственной модели foundry сделали возможным подход «first pass success» — успех с первой попытки». То есть подход, исключающий из процесса разработки изделия итерационных циклов доработки и отработки конструкций, технологических маршрутов и параметров, условий и режимов отдельных операций для каждой новой модели изделия.

Ключевым моментом в переходе от IDM к fabless и foundry стало изменение и расширение понятия «базовый технологический процесс» — от прототипа или типового процесса к процессу стандартизированному. Теперь помимо самого технологического процесса как

5.4.2. Оснащение производства

Оборудование

На сегодняшний день на московских предприятиях микроэлектроники используются следующие виды оборудования:

1. Оборудование для кристального производства
2. Оборудование для резки пластин, подложек и групповых заготовок
3. Оборудование для формирования объёмных выводов (бампирование пластин)
4. Оборудование для монтажа кристаллов
5. Оборудование для плазменной

обработки

6. Оборудование для разварки кристаллов
7. Оборудование термическое
8. Оборудование для герметизации
9. Оборудование для дозирования пасты и клея
10. Трафаретные принтеры
11. Оборудование для пайки и сварки
12. Оборудование для отмычки
13. Оборудование влагозащиты
14. Оборудование контроля
15. Вспомогательное оборудование

набора технологических операций и правил контроля их результата, в базовом или стандартизированном процессе стало обязательно наличие библио-теки стандартных элементов, правил проектирования и инструмента проектирования (PDK – Process Design Kit).

5.4.3 Подходы к проектированию

Для понимания перехода от модели IDM к фаблесс/фаундри следует обратить внимание на конструирование и технологии изготовления изделий и на взаимодействие между ними на этапе проектирования. В модели IDM используется базовый чертёж, а в фаблесс/фаундри – PDK. Ключевое отличие базового чертежа от PDK «глубина» описания элементарного элемента. В библиотеку стандартных элементов PDK входят не все возможные в данной технологии элементы, а только обеспечивающие заданные характеристики при требуемой воспроизводимости.

Базовый чертёж, формируемый на базе типовых процессов, содержит описание двумя группами параметров:

1. Геометрические параметры длина, ширина, высота или толщина и расстояния между ними.
2. Электротехнические параметры электрическое сопротивление, индуктивность, ёмкость элемента. В PDK элементарный топологиче-

ский элемент описывается большим числом параметров:

1. Геометрические параметры. Аналогично с базовым чертежом все элементы имеют размеры и расстояния.
2. Электротехническое описание. Для случая постоянного или низкочастотного тока.
3. Радиотехническое описание. Характеризует элемент для ВЧ и СВЧ сигналов, как правило, это набор его S-параметров.
4. Статистическое описание. Учитывает реальный разброс значений элемента при его физической реализации для прогноза при выборе наиболее оптимальных конструкторско-технологических решений.
5. Контрольно-измерительная группа. Результаты измерения физических величин: от геометрии до температурных зависимостей.
6. Программная часть. Библиотека стандартных элементов, созданная на базе аттестованного или стандартизированного техноло-

гического процесса, сопряжённая с САПР и руководством по проектированию.

Положительным эффектом такого подхода проектирования с первой попытки, исключающего этапы итерационных циклов доработки и отработки конструкций, разработки технологических маршрутов и параметров, условий и режимов отдельных операций для каждой новой модели, стала возможность у фабрик продавать производственные и технологические услуги при условии, что технологический процесс стандартизирован и имеет актуальный PDK. Результатом такого подхода на мировом рынке электронных компонент стал переход от сертификации конструкции к сертификации технологии.

6 Инвестиции в отрасли

6.1. Обзор инвестиционных проектов в Москве и РФ

Для определения потенциала локализации производства микроэлектроники в Москве были проанализированы 12 инвестиционных проектов, реализованных и планируемых к реализации на территории РФ в период с 2018 по 2021 гг. Основные цели проектов связаны с открытием нового производства печатных плат и электронных комплектующих, а также созданием опытных производств и научных баз, модернизацией и приобретением нового оборудования для увеличения объемов и повышения качества производимой продукции.

По итогам реализации проектов:

- совокупный объем инвестиций в проекты составил более 4,5 млрд руб.;

- реализация инвестиционных проектов предполагает создание более 200 новых рабочих мест;
- наибольшая концентрация инвестиционных проектов, а также наибольший объем инвестиций отмечены в Москве (780 млн руб. или 17,1% от суммарных инвестиций по отрасли в РФ).

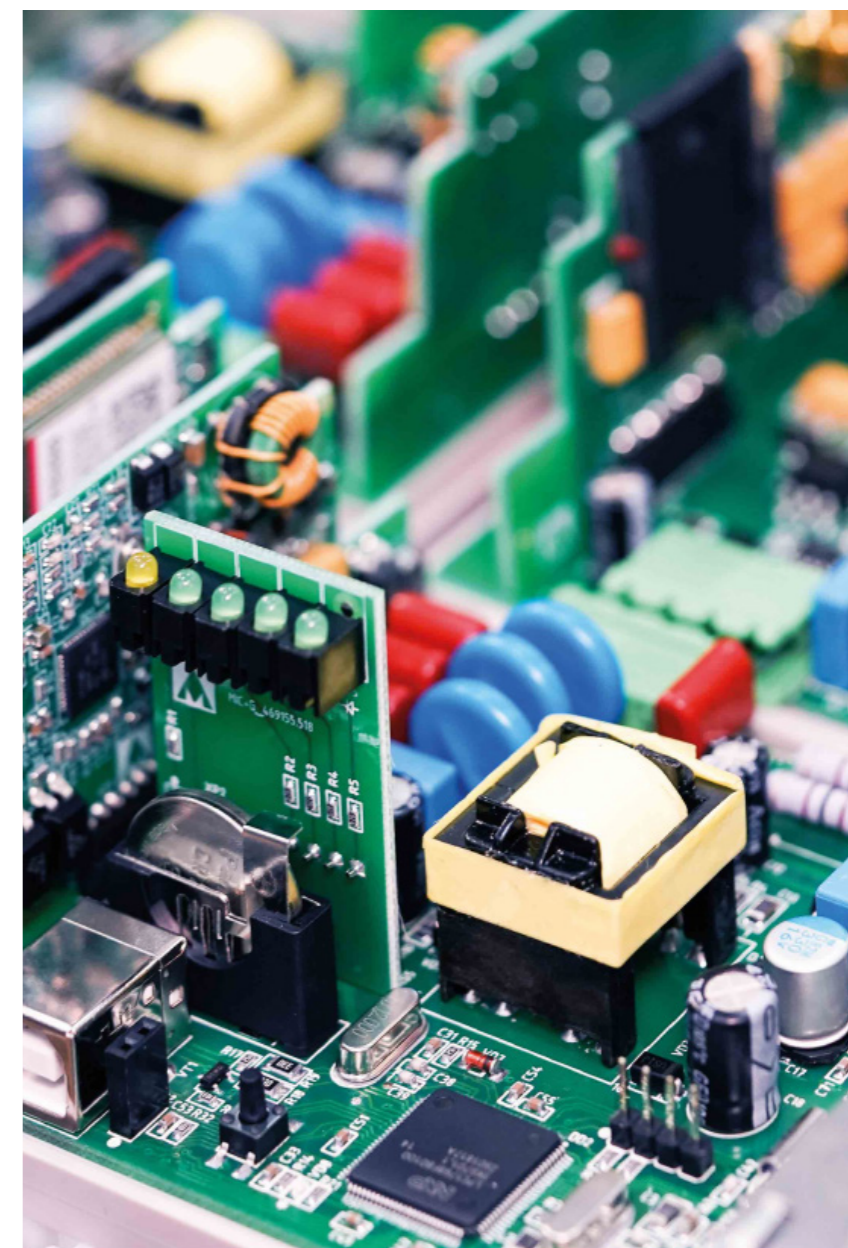


Таблица 5. ТОП-12 крупнейших инвестиционных проектов РФ 2018–2021 гг.

№	Компания	Локация	Описание проекта	Год запуска	Инвестиции, млн руб.
1	ООО «Ядро ФАБ Дубна»	Московская область	Производство печатных плат с использованием конструкционных материалов	2021	1 800
2	АО «НТЦ Элинс»	Московская область	Производство электронных микрокомпонентов для нужд Министерства обороны	2021	1 600
3	ООО «Неорос»	Москва	Разработка и производство высокотехнологического оборудования для высокоскоростной и безопасной передачи данных	2021	500
4	ООО «ПФ Элкон»	Санкт-Петербург	Производство печатных плат с использованием конструкционных материалов	2021	360
5	АО «ПКК Миландр»	Москва	Создание участка опытного производства	2019	144
6	АО «ПКК Миландр»	Москва	Создание научно-производственной базы, центра проектирования образовательного центра, сборочно-измерительного производства и испытательного центра.	2018	74
7	ООО «Микрон»	Москва	Лизинг технологического оборудования для сборки микросхем	2020	52
8	ООО «МикроЭМ Технологии»	Москва	Модернизация оборудования, приобретение нового технологического оборудования	2020	10
9	«Крокус наноэлектроника» (портфельная компания «Роснано»)	Москва	Выпуск микросхем энерго-независимой резистивной (ReRAM) памяти, созданных на базе технологического процесса 55 нм ULP (Ultra Low Power)	2020	н/д
				Итого	4 540

Источник: Открытые источники, анализ ГБУ «АПР»

Москва и Московская область обладает высоким инвестиционным потенциалом, о чем свидетельствует концентрация проектов в столице и области, а также доля инвестиций в суммарном объеме инвестиций в отрасль РФ. Ниже представлена региональная карта основных инвестиционных проектов, а также суммарный объем инвестиций в границах региона. Стоит отметить, что большинство проектов направлено на производство печатных плат, сборку микросхем, создание и модернизацию лабораторий.

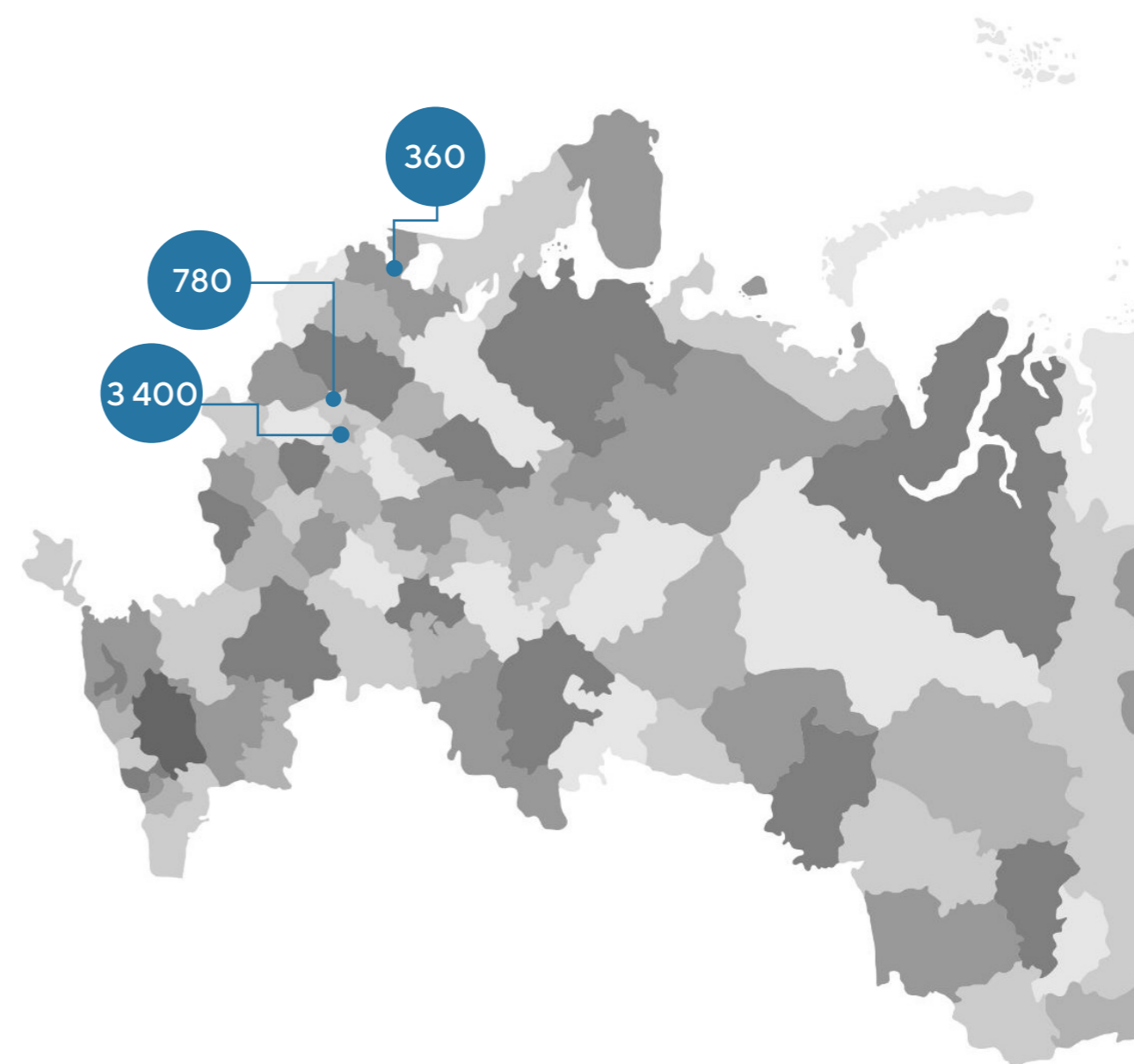


Рисунок 29. Карта локализации крупнейших инвестиционных проектов РФ в 2018–2021 г., млн руб.
Источник: открытые источники, анализ ГБУ «АПР»

6.2. Инвестиционные ниши

Для выявления потенциальных инвестиционных ниш для локализации производств в столице были проанализированы объемы международной торговли продукцией микроэлектронной промышленности, а также объемы импорта компонентов в РФ в 2017-2020 гг.

По объемам мирового импорта в 2019 г. больше всего страны закупали следующую продукцию:

- процессоры и контроллеры – 243 млрд долл. США;
- запоминающие устройства – 190 млрд долл. США;
- приборы полупроводниковые фоточувствительные – 57 млрд долл. США.

По темпам прироста объемов мирового импорта в 2018-2019 гг. лидировали:

- тиристоры, динисторы и тринисторы – +23%;
- запоминающие устройства – +14%;
- транзисторы – +13%.

Анализируя структуру импорта РФ в 2020 году, можно сделать вывод о том, что данная продукция была востребована и на отечественном рынке:

- процессоры и контроллеры – 35 млрд руб.;
- приборы полупроводниковые фоточувствительные – 13 млрд руб.;
- запоминающие устройства – 6 млрд руб.

По темпам прироста объемов импорта в РФ в 2020 г. лидировали:

- приборы полупроводниковые фоточувствительные – +19%;
- части трансформаторов электрических – +14%;
- запоминающие устройства – +11%.

Таким образом, для целей импортозамещения в столице могут быть локализованы предприятия, производящие следующую продукцию:

- процессоры и контроллеры;
- запоминающие устройства;
- приборы полупроводниковые фоточувствительные.

Ещё один перспективный сегмент для российской микроэлектроники – интернет вещей, как промышленный, так и решения для «умного» города. Построение систем на основе отечественных компонентов гарантирует не только защищенность, но и развитие российской микроэлектронной промышленности.

Особую важность в развитии отрасли микроэлектроники и продвижении электронной продукции имеет объединение усилий и создание отраслевых консорциумов для обеспечения серийности, качества продукции и создания национального стандарта, который стал бы для отрасли инструментом защиты продуктовой линейки и продвижения на другие рынки.

7 Обзор мирового рынка

7.1. Объемы мирового производства

Объем мирового рынка в 2020 году достиг 415 млрд долл. США. На рисунке 17 проиллюстрировано разделение рынка микроэлектроники по сегментам по конечному потребителю. Для сравнения, мировой рынок конечных устройств на основе электроники составил более полутора триллионов долларов, а, например, автопроизводители всего мира получают 450 миллиардов за один квартал.

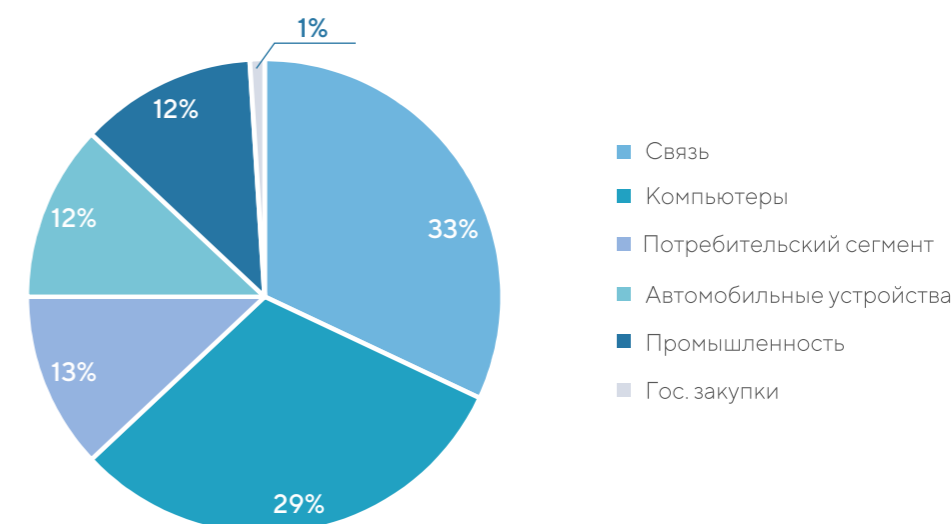


Рисунок 30. Мировой рынок микроэлектроники (по выручке) по конечному потребителю, 2019 год¹⁷
 Источник: <https://www.statista.com/>

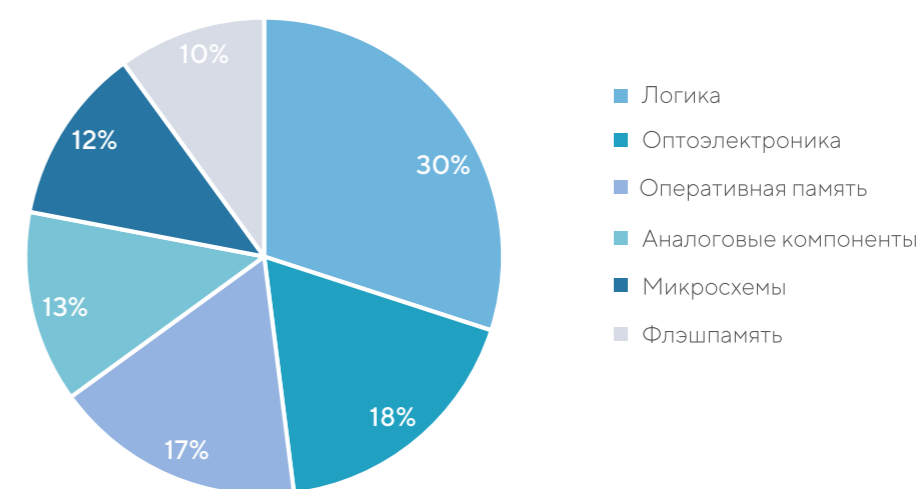


Рисунок 31. Мировой рынок микроэлектроники (по выручке) по типу продуктов, 2019 год
 Источник: Techcet Executive Market Report: Semiconductor Industry Market Trends 2019-20/

¹⁷ В сегмент «Компьютеры» включены серверы, «связь» содержит в основном смартфоны, «автомобильные устройства» охватывает системы помощи водителю, электропривод дисплеи (вместо стрелочных приборов на панели)

Самая большая доля приходится на сегмент логических схем – это цифровые схемы (не память, не процессоры): модемы, интерфейсы, микроконтроллеры и т.д. Оптоэлектронные компоненты включают в себя в основном светодиоды (активно замещающие лампы накаливания) и чувствительные элементы фото- и видеокамер. Ключевые компании производят в основном «память», DRAM, флэш-память. Этому также способствует то, что и для DRAM, и для многоуровневого флэша нужны специальные опции технологии, которых обычно нет в процессах для других применений.

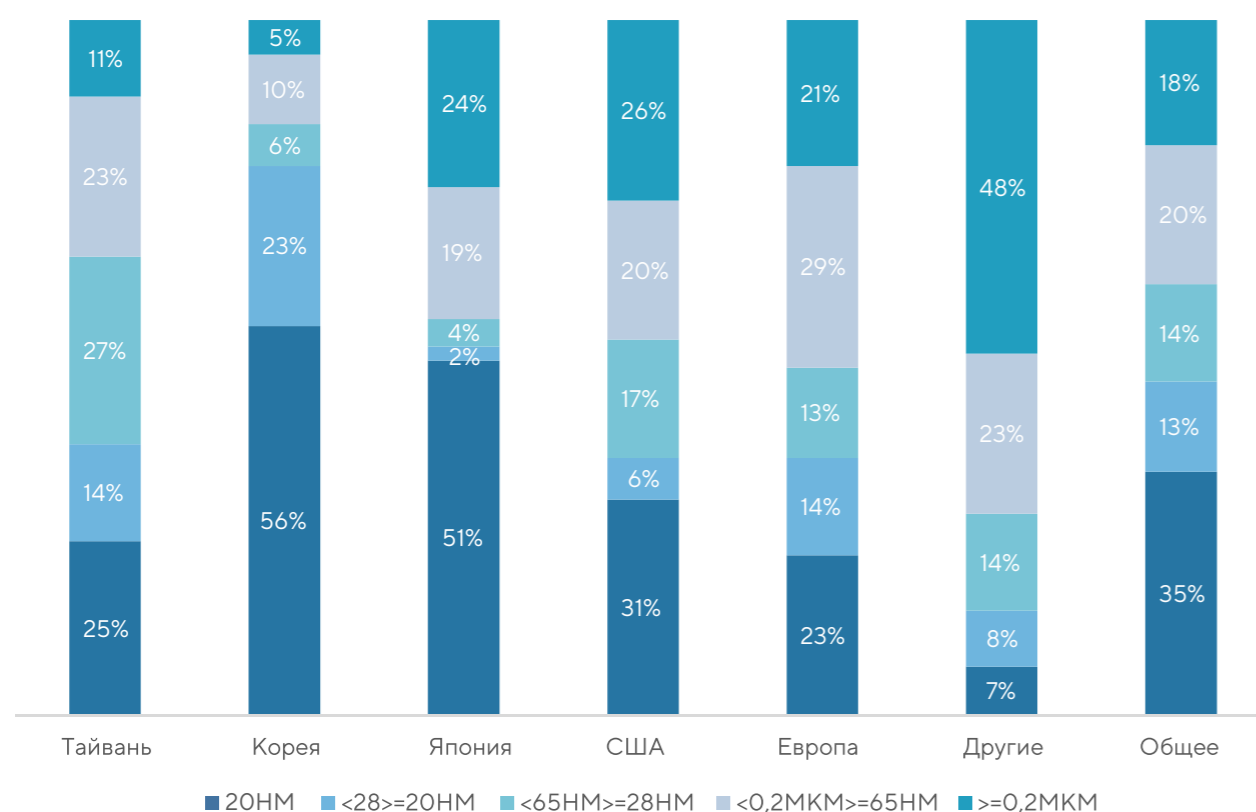


Рисунок 32. Распределение мирового производства микросхем по проектным нормам, 2019 г. Источник: IC Insights

7.2. Крупнейшие мировые игроки

Рынок микроэлектроники консолидированный и конкурентный. Лидеры рынка – Intel, Qualcomm, Micron Technology, Texas Instruments, Nvidia, STMicroelectronics. При этом азиатские страны – Тайвань, Корея и Япония, Китай, Сингапур и Малайзия – выпускают 3/4 мировой микроэлектроники.

Таблица 6. Крупнейшие производители полупроводников, 2019 год

Компания	Страна	Продукт
Intel	США	Процессоры, ПЛИС
Samsung	Корея	Разное, в т.ч память
TSMC	Тайвань	Фаундри
SK Hynix	Корея	Память
Micron	США	Память
Qualcomm	США	Связь
Broadcom	США	Связь
Texas Instruments	США	Аналоговые компоненты
Toshiba (Kioxia)	Япония	Разно, в т.ч память
Nvidia	США	Видеокарты

Источник: IC Insights

Крупнейшие 10 компаний занимают 2/3 всего рынка.

- SK Hynix – бывшее полупроводниковое подразделение Hyundai.
- Micron – специализируется на производстве памяти.
- TSMC – крупнейший контрактный производитель микросхем, собирает чипы по аутсорсинговой схеме.
- Broadcom, Qualcomm – лидеры в коммуникационных чипах, Texas – в аналоговых микросхемах.
- Broadcom, Qualcomm, Nvidia не имеют собственного производства микросхем, работают по fabless-модели, отдают на аутсорсинг производство своих чипов на тайваньской фабрике. Заводы Intel расположены в США, Израиле и Ирландии, заводы американской Micron – в Тайване, Сингапуре, Японии.

Таблица 7. Крупнейшие контрактные производства микросхем по состоянию, 2019 год

Компания	Страна	Фабрики	Минимальные проектные нормы, нм
TSMC	Тайвань	Тайвань, Китай	7
Samsung	Корея	Корея, Китай	7
GlobalFoundries	США	США, Германия, Сингапур	12
UMC	Тайвань	Тайвань, Китай, Сингапур	14
SMIC	Китай	Китай	14
TowerJazz	Израиль	Израиль, США	45
HN Grace	Китай	Китай	90
VIS	Тайвань	Тайвань	110
Powerchip	Тайвань	Тайвань	20
Dongbu HiTek	Корея	Корея	90

Источник: Открытые источники. Анализ ГБУ «АПР»

Таблица 8. Крупнейшие fabless-разработчики микросхем, 2019 год

Компания	Страна	Сфера деятельности
Qualcomm	США	Чипы для телефонов и телеком
Broadcom	США	Телеком
Nvidia	США	Видеокарты
Mediatek	Тайвань	Чипы для телефонов
Hisilicon (часть Huawei)	Китай	Чипы для телефонов
AMD	США	Процессоры, видеокарты
Xilinx	США	FPGA
Marvell	США	Процессоры, телеком
Nowatek	Тайвань	Драйверы дисплеев

7.3. Тенденции развития рынка микросхем

1. Производство микроэлектронных компонентов для устройств интернета вещей.
2. Серийное производство микросхем по 10 нм, 7 нм, 6 нм техпроцессам.
3. Развитие фаблес и фаундри подходов к производству микроэлектронных компонентов.
4. Производство микроэлектронных компонентов для безопасного функционирования объектов критической инфраструктуры, таких как объекты связи, транспорта, энергетики и прочее.
5. Рост спроса на процессоры гипермасштабируемых дата-центров.

7.4. Мировой импорт и мировой экспорт

В 2019 году продукцию отрасли микроэлектроники импортировали 133 страны мира¹⁸. По итогам 2019 года объем международной торговли составил 597 млрд долл. США. Общий объем международной торговли в 2017-2019 вырос на 12%. Наибольшая доля в стоимостном выражении в 2019 году принадлежала следующим сегментам: процессоры и контроллеры – 242,4 млрд. дол. (40,6%), запоминающие устройства – 189,9 млрд. дол. (31,8%), приборы полупроводниковые фоточувствительные – 56,5 млрд. дол. (9,5%).

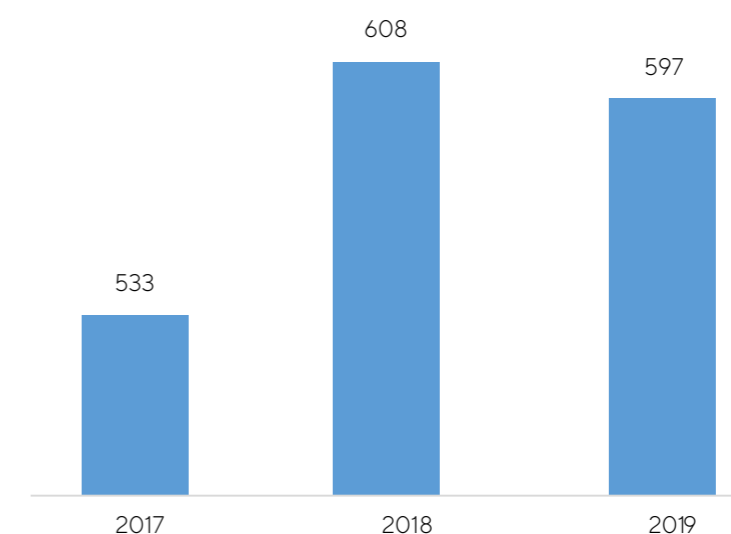


Рисунок 33. Объем мирового импорта микроэлектроники, млрд долл. США
Источник: International Trade Statistics Database, анализ ГБУ «АПР»

¹⁸ Анализ проводился на основе кодов Гармонизированной системы описания и кодирования товаров, принятой в международной торговле.

Большинство товарных категорий демонстрировали стабильные темпы роста. Положительными темпами прироста характеризовались 5 сегментов за 2018-2019гг.: части электронных интегральных схем (+3,8 %) процессоры и контроллеры (+7,9%), усилители (+9,6%), приборы полупроводниковые прочие (+0,4%), приборы полупроводниковые фоточувствительные (+8,7%), прочие транзисторы, кроме фототранзисторов (+0,7%).

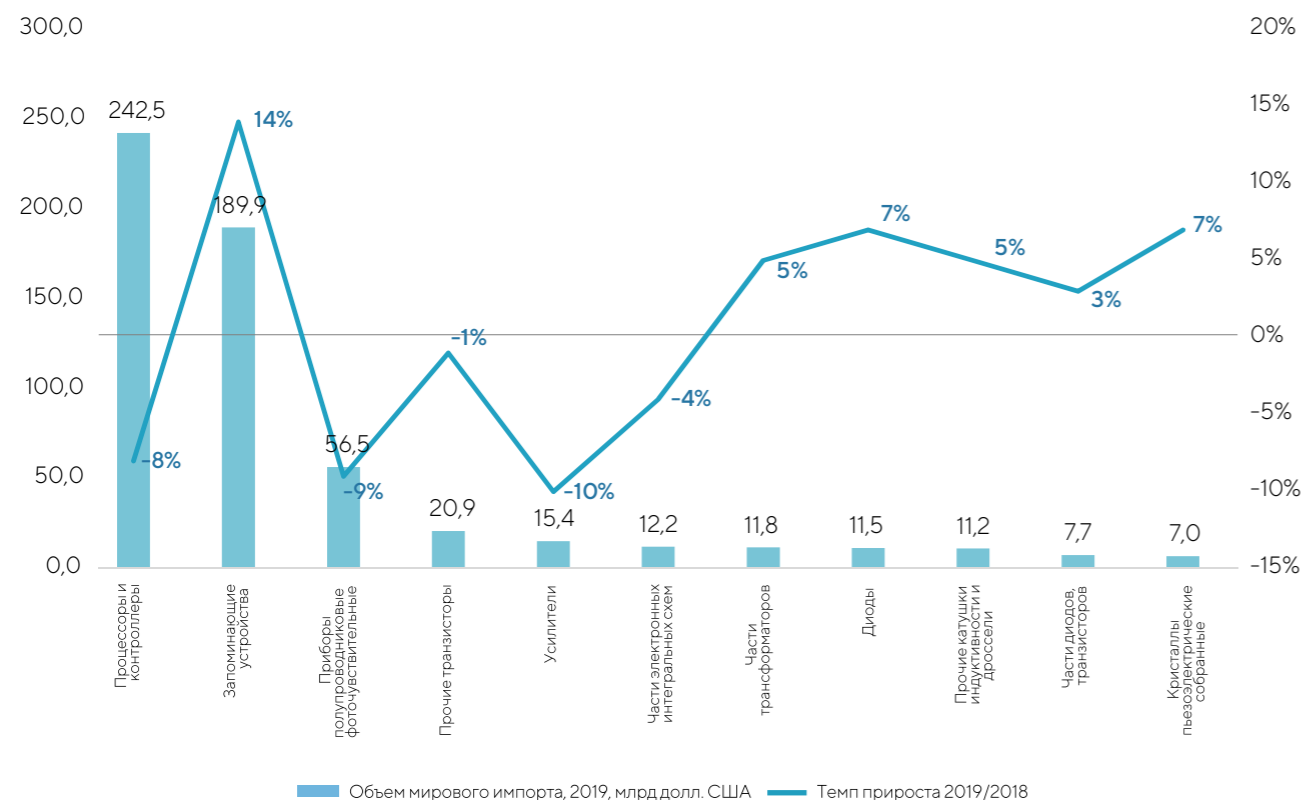


Рисунок 34. Структура мирового импорта микроэлектроники
Источник: International Trade Statistics Database

Крупнейшие мировые импортеры в 2019 занимали 74% от общего объема рынка микроэлектроники. Ключевыми покупателями в данном году стали: Китай (39%), Корея (13%), Сингапур (8%), Малайзия (7%), США (6%). Пандемия COVID-19 оказала различное влияние на различные сегменты рынка микроэлектроники. Сильно пострадал рынок автомобильной и промышленной микроэлектроники и доля потребительского сегмента. Рост наблюдался у производителей продукции для дистанционного обучения и работы. Наблюдался повышенный спрос на процессоры для гипермасштабируемых дата-центров.

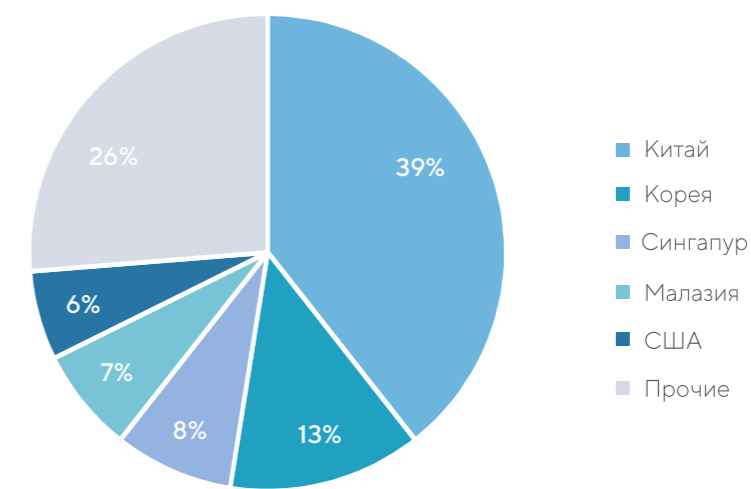


Рисунок 35. Ключевые импортеры микроэлектроники в мире
Источник: International Trade Statistics Database

Приложения

Приложение 1. Структура валового регионального продукта Москвы, 2019 г.



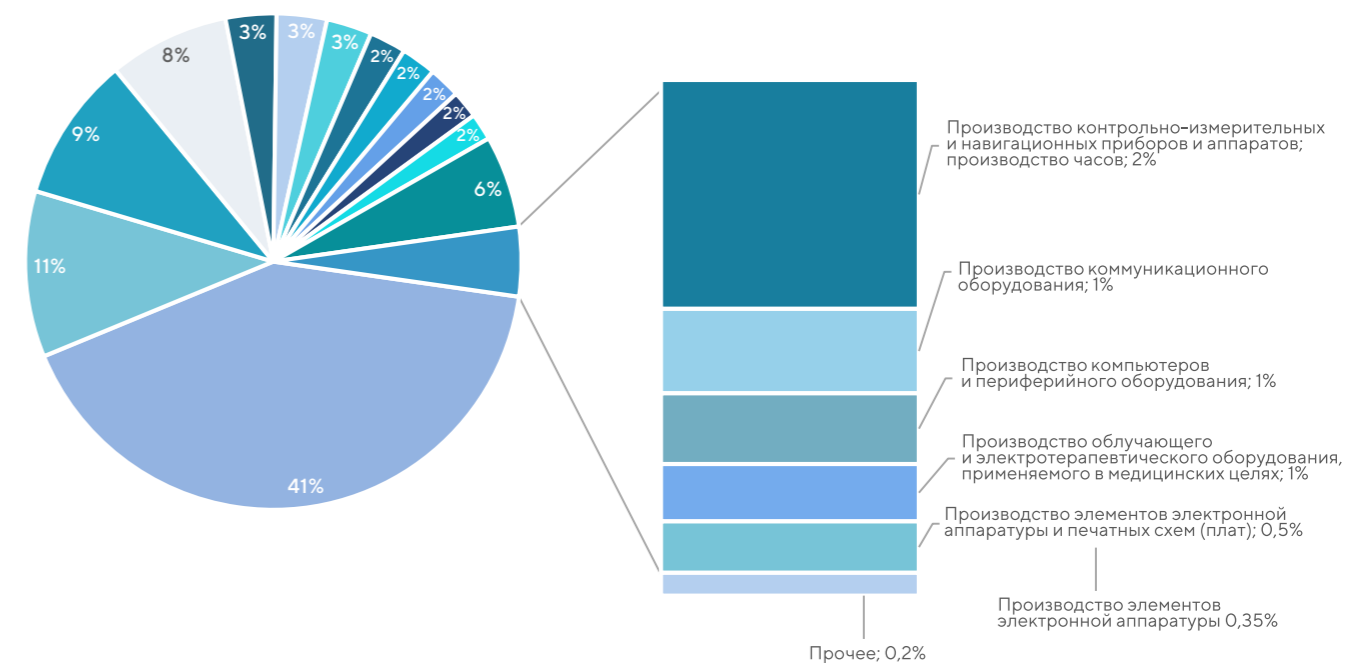
Источник: Росстат

Приложение 2. Динамика объемов отгруженной продукции обрабатывающих производств и отраслей радиоэлектроники, млн руб.

Виды экономической деятельности	декабрь 2017	декабрь 2018	декабрь 2019	декабрь 2020
Обрабатывающие производства	4 782 748	6 191 989	5 861 982	5 945 614
Производство элементов электронной аппаратуры и печатных схем (плат)	19 802	27 163	25 660	26 861
Производство компьютеров и периферийного оборудования	17 084	20 800	29 166	36 899
Производство коммуникационного оборудования	49 431	48 928	79 817	43 989
Производство бытовой электроники	21 231	242	358	3 266
Производство контрольно-измерительных и навигационных приборов и аппаратов; производство часов	85 042	133 692	134 547	119 257
Производство оптических приборов, фото- и кинооборудования	5 107	4 234	6 626	6 349
Производство незаписанных магнитных и оптических технических носителей информации	293	332	1 397	2 165
Производство электрических ламп и осветительного оборудования	2 739	1 159	5 299	2 205
Производство бытовых приборов	823	4 738	1 167	781

Источник: Мосстат

Приложение 3. Структура отгруженной продукции обрабатывающей промышленности Москвы, 2020г.



- Производство кокса и нефтепродуктов
- Производство металлургическое
- Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования
- Производство пищевых продуктов
- Ремонт и монтаж машин и оборудования
- Производство прочих транспортных средств и оборудования
- Производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях
- Производство прочей неметаллической минеральной продукции
- Производство химических веществ и химических продуктов
- Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов
- Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки
- Производство резиновых и пластмассовых изделий
- Прочие
- Производство компьютеров, электронных и оптических изделий

Источник: Мосстат

Приложение 4. Динамика импорта микроэлектроники в Москву, 2017-2020, млрд руб.

ТН ВЭД	2017	2018	2019	11 мес. 2020
854231-процессоры и контроллеры, объединенные или не объединенные с запоминающими устройствами, преобразователями, логическими схемами, усилителями, синхронизаторами или другими схемами	24,46	21,80	18,94	25,79
854140-приборы полупроводниковые фоточувствительные, включая фотогальванические элементы, собранные или не собранные в модули, вмонтированные или не вмонтированные в панели; светоизлучающие диоды	4,34	5,74	5,11	4,88
854232 -запоминающие устройства	1,12	1,25	1,06	2,44
854129-прочие транзисторы, кроме фототранзисторов	1,35	1,82	1,52	2,03
850450-прочие катушки индуктивности и дроссели	1,23	1,23	1,22	1,70
850490-части трансформаторов электрических, статических электрических преобразователей, катушек индуктивности и дросселей	1,10	1,10	1,31	1,32
854110-диоды, кроме фотодиодов или светоизлучающих диодов	0,91	1,21	1,11	1,21
854233-усилители	1,03	1,13	1,00	1,07
854290-части электронных интегральных схем	0,44	0,50	0,46	0,54
854160-кристаллы пьезоэлектрические собранные	0,25	0,31	0,26	0,33
854130-тиристоры, динисторы и тринисторы, кроме фоточувствительных приборов	0,20	0,23	0,17	0,21
854121-транзисторы, кроме фототранзисторов мощностью рассеивания менее 1 вт	0,18	0,17	0,16	0,19
854190-части диодов, транзисторов и аналогичных полупроводниковых приборов	0,13	0,07	0,09	0,11
854150-приборы полупроводниковые прочие	0,43	0,07	0,07	0,08
ИТОГО	37,19	36,62	32,48	41,90

Источник: ФТС

Приложение 5. Динамика экспорта микроэлектроники из Москвы, 2017-2020, млн руб.

ТН ВЭД	2017	2018	2019	11 мес. 2020
854231 - процессоры и контроллеры, объединенные или не объединенные с запоминающими устройствами, преобразователями, логическими схемами, усилителями, синхронизаторами или другими схемами	382,66	265,32	545,11	637,16
854140 - приборы полупроводниковые фоточувствительные, включая фотогальванические элементы, собранные или не собранные в модули, вмонтированные или не вмонтированные в панели; светоизлучающие диоды	552,83	411,58	516,43	543,80
854150 - приборы полупроводниковые прочие	462,46	390,18	333,81	442,81
850490 - части трансформаторов электрических, статических электрических преобразователей, катушек индуктивности и дросселей	164,44	65,02	73,91	92,82
850450 - прочие катушки индуктивности и дроссели	79,58	57,15	206,64	79,01
854232 - запоминающие устройства	41,48	68,97	55,99	57,28
854233 - усилители	134,92	35,09	31,92	47,77
854129 - прочие транзисторы, кроме фототранзисторов	77,72	38,33	54,63	47,24
854110 - диоды, кроме фотодиодов или светоизлучающих диодов	42,77	86,40	59,68	44,73
854160 - кристаллы пьезоэлектрические собранные	40,73	25,90	30,28	20,57
854121 - транзисторы, кроме фототранзисторов мощностью рассеивания менее 1 вт	9,49	9,61	18,20	7,57
854130 - тиристоры, динисторы и тринисторы, кроме фоточувствительных приборов	21,02	8,70	11,08	6,70
854290 - части электронных интегральных схем	4,38	5,19	6,66	5,71
854190 - части диодов, транзисторов и аналогичных полупроводниковых приборов	8,99	0,46	0,71	0,44
ИТОГО	2023,46	1467,90	1945,03	2033,58

Источник: ФТС

Приложение 6. Топ-10 поставщиков в рамках государственного заказа Москвы, 2019 г.

номер п/п	Наименования поставщика	Сумма поставки, млн руб.	Доля от общего объема государственных закупок
1	АО «ТТТ»	41,08	13%
2	ООО «РАДЕТ-ЭЛЕКТРО»	34,12	11%
3	ООО «Абсолют-Сервис»	18,87	6%
4	ООО «ЦТР»	17,20	6%
5	ООО «Имидж-шоу»	15,83	5%
6	ООО «Театральные инженерные решения»	15,14	5%
7	ООО «Специальная механика»	13,41	4%
8	ООО «ДИЛЕРЦЕНТР»	10,68	3%
9	ООО «СТЕФ»	10,67	3%
10	ООО «Стиль-М»	7,82	3%

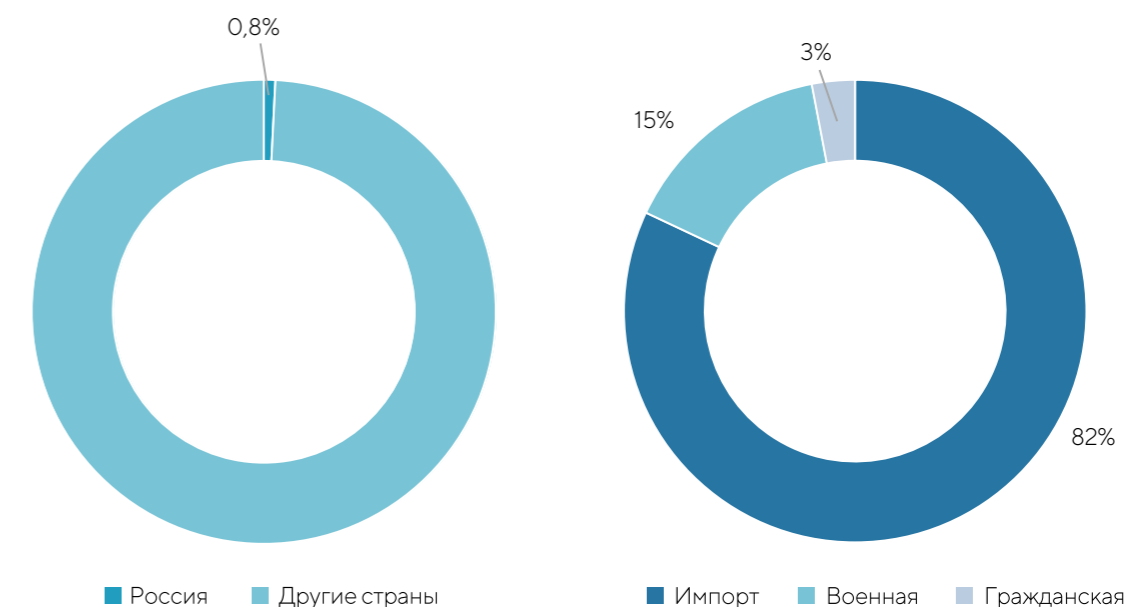
Источник: zakupki.gov

Приложение 7. Точки отраслевого роста и развития спроса в рамках «Цифровой экономики»

Продукты	Микропроцессоры	Память	RF-метки	Оптоэлектроника
Энергетика	Интеллектуальные датчики учета			
Телеком	СХД, 5G	СХД, 5G		СХД, 5G
Госсистемы	Вычислительная техника	Вычислительная техника, СХД	Цифровой паспорт	
Финансовый сектор	Кассовые аппараты	Кассовые аппараты	Банковские карты (МИР)	
Медицина	Носимые устройства		Маркировка	
Промышленность	IIOT, IIOT	IIOT, IIOT	Умное производство, системы учета продукции	Станкостроение
Автопром	Радары, лидары	Навигационные системы		Радары, лидары
Сельское хозяйство	IIOT, IIOT	IIOT, IIOT	Маркировка продукции	

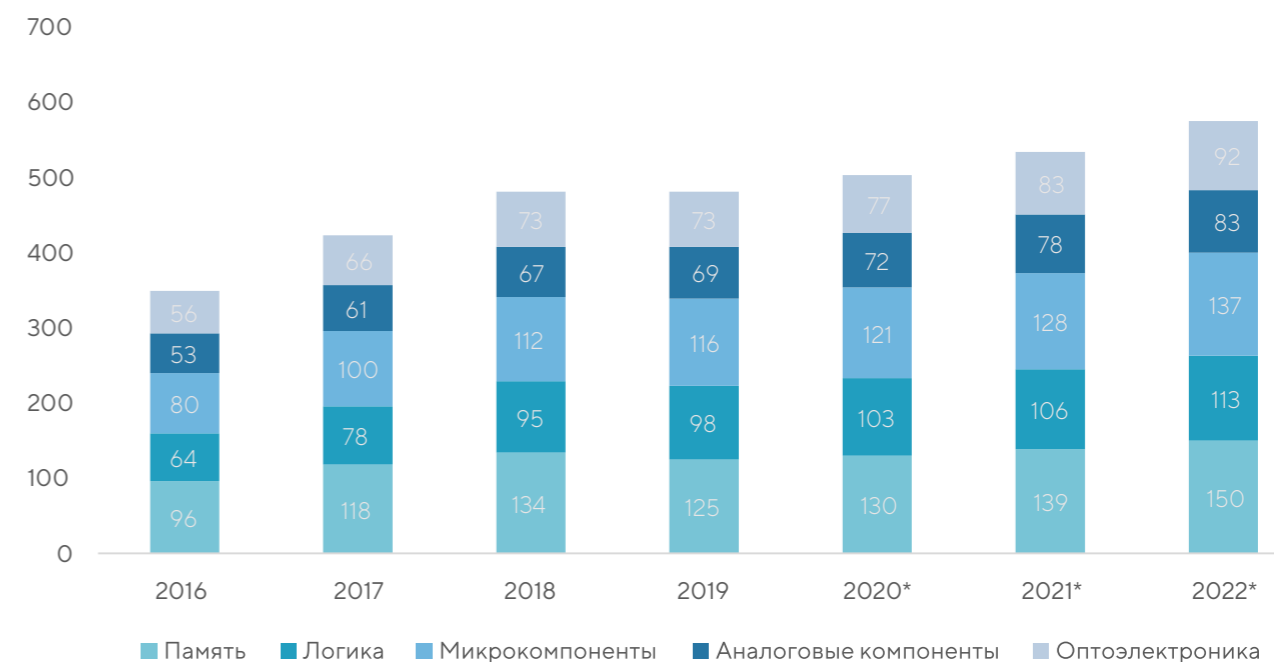
Источник: по материалам АНО «Цифровая экономика»

Приложение 8. Рынки и сегменты микроэлектроники в России, 2019



Источник: по материалам АНО «Цифровая экономика»

Приложение 9. Доля рынка по типам компонентов, млрд долл. США



Источник: PwC Research: Opportunities for the global semiconductor market research

* Прогноз



КОМПЛЕКС ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ
И ИМУЩЕСТВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ
ПРАВИТЕЛЬСТВА МОСКВЫ



ДЕПАРТАМЕНТ ИНВЕСТИЦИОННОЙ
И ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ
ГОРОДА МОСКВЫ

АПР

АГЕНТСТВО
ПРОМЫШЛЕННОГО
РАЗВИТИЯ МОСКВЫ

Государственное бюджетное учреждение города Москвы
«Агентство промышленного развития города Москвы» (ГБУ «АПР»)



123995, г. Москва, ул. 1905 года, д. 7, стр. 1



8 (495) 909-30-69



apr@develop.mos.ru



apr.moscow