

Яков  
и Партнёры

# Микро- электроника России

От дефицита  
к технологической  
независимости

# Микроэлектроника России: от дефицита к технологической независимости

Тигран Саакян, партнёр  
Марсель Сираев, менеджер проектов  
Ростислав Шамиловский, консультант

Отказ от работы с Россией ряда глобальных компаний, разрабатывающих и производящих микрочипы, в частности TSMC, Intel, Nvidia, а также нарастающая борьба в отрасли среди крупнейших производителей создают вызовы для российской промышленности. Эта проблема, затрагивающая импорт как современных чипов, так и оборудования и компонентов, необходимых для их производства на территории России, в итоге может пагубно сказаться на развитии других отраслей страны, в том числе имеющих стратегическое значение.

Несмотря на то, что в микроэлектронике развита глобальная кооперация, в последние годы в отрасли отчетливо обозначился тренд на локализацию производства микрочипов. Крупнейшие экономики мира все более активно инвестируют в развитие собственных производств по соображениям национальной безопасности.

Так, США планируют переносить производство чипов из Тайваня, где располагаются крупнейшие производства чипов, на свою территорию: президент США уже подписал указ, запрещающий технологическим компаниям использовать чипы, произведенные вне страны. Ужесточены ограничения на экспорт готовых чипов и новейшего оборудования для их производства в Китай, а также использование американских технологий: под угрозой потери гражданства американские инженеры и высококвалифицированные специалисты, работавшие в Китае на производстве чипов и в исследовательских лабораториях, были вынуждены покинуть страну. Китай в свою очередь развивает собственное производство современных чипов и необходимого оборудования, стремясь преодолеть излишнюю зависимость от Тайваня и США. Всего в 2019–2022 гг. США и Китай выделили на различные программы в сфере локализации производства микроэлектроники порядка 80 млрд долларов.

## Что такое микрочип?

Чипы — это микроэлектронные устройства, изготавливаемые на кристалле или пленке в неразборном корпусе.

**Чипы можно разделить на три типа в зависимости от выполняемой функции:** память, логика и преобразование дискретной или аналоговой информации в цифровую.

**Кроме того, микрочипы определяются проектными нормами:** плотностью расположения составляющих рисунка чипа — диодов и транзисторов. Проектные нормы указываются в нанометрах (нм), при этом условно можно выделить три уровня проектных норм.

- 1 Первый (базовый) уровень — это номенклатура чипов на 90 нм и более.
- 2 Второй (переходный) уровень — 45–90 нм.
- 3 Третий (продвинутый) уровень — это архитектура чипов с проектными нормами ниже 45 нм.

Максимально сложная архитектура, достигнутая сегодня и производимая в промышленных масштабах, — 5 нм.

Уменьшение проектных норм, то есть размеров печати диодов и транзисторов для увеличения плотности их расположения, повышает производительность чипов, уменьшает их размер и снижает их энергопотребление.

К сожалению, экономические реалии не позволяют России соревноваться с такими масштабными программами, однако цели обеспечения технологического суверенитета могут быть достижимы и при более скромных масштабах государственной поддержки.

В этих условиях для обеспечения потребностей производства в России необходимо в кратчайшие сроки устранить технологические разрывы и провести модернизацию имеющихся производств с долгосрочной целью полностью заместить не только изготовление чипов, наиболее часто используемых в отечественном производстве, но и сопутствующих материалов, необходимых для их создания.

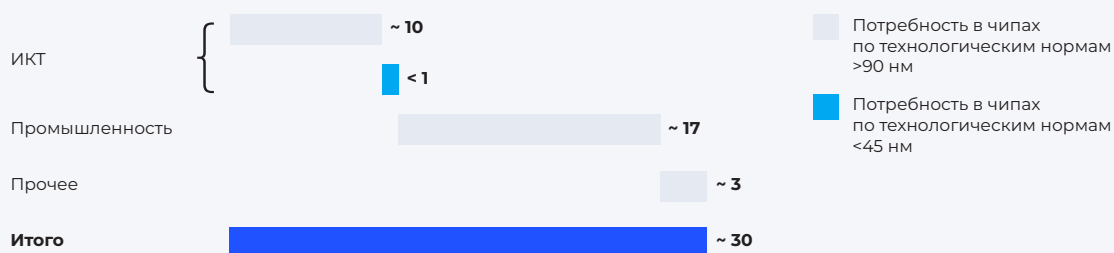
## Базовый уровень — критически важный для функционирования отечественной промышленности

Большая часть чипов в Россию поступает в виде уже готовых потребительских товаров, таких как ноутбуки, смартфоны, карты памяти и пр. При этом наиболее востребованными с точки зрения промышленности являются микрочипы базового уровня (90 и более нанометров), отсутствие которых может привести к остановке ряда производств. На данный сегмент в 2019 г. приходилось примерно 38% мирового производства (общемировые производственные мощности, выраженные через эквивалент 200-миллиметровых полупроводниковых пластин в месяц).

## Этапы процесса изготовления микрочипа

- 1 Изготовление кремниевых пластин из монокристаллов (булей), выращенных из кварцевого песка с коксом. Монокристалл в форме цилиндра нужного диаметра (100, 150, 200, 300 мм) нарезается на тонкие кремниевые пластины, которые потом шлифуются и полируются.
- 2 Нанесение рисунка чипа на кремниевую пластину.
  - На кремниевую пластину наносятся слои изолирующего и проводящего материалов. Затем пластина покрывается однородным слоем фоторезиста.
  - На этапе литографии рисунок будущей схемы наносится на фотошаблон. Ультрафиолетовый свет проходит через шаблон и переносит рисунок на слой фоторезиста на кремниевой пластине.
  - После проявления области кремниевой пластины, не защищенные фоторезистом, удаляются и очищаются газами или химическими веществами.
  - Далее пластина обрабатывается ионогенными газами, которые изменяют проводящие свойства нового слоя за счет добавления примесей, таких как бор и мышьяк.
- 3 Готовые пластины нарезают на 100–1000 чипов и отправляют на сборку в корпус и тестирование.

## Спрос на чипы по технологическим нормам в России в 2022 г., тыс. пластин / мес.<sup>1</sup>



Источник: SIA, интервью с отраслевыми экспертами

<sup>1</sup> Эквивалент 200-мм пластин

Ни одно современное производство не может нормально функционировать без микрочипов. Текущий спрос на микрочипы размером 90 и более нм в России можно оценить в 30 тыс. пластин в месяц<sup>1</sup>. Примеры основных сфер применения — информационно-коммуникационные технологии, космическая и авиационная промышленность, а также автопром.

Микрочипы следующего уровня — по нормам 45–90 нм — в целом на сегодняшний день не имеют широкого применения в промышленности, а для современных процессоров и памяти данные нормы являются устаревшими. Всего в мире на них приходится около 9% производства.

Микрочипы продвинутого уровня (менее 45 нм) применяются для персональных и суперкомпьютеров, портативной электроники, серверного оборудования и карт памяти, однако на сегодняшний день спрос на данную номенклатуру чипов со стороны российских производителей остается низким — менее 1 тыс. пластин в месяц.

По нашим оценкам, в ближайшие пять лет совокупный спрос на чипы в России может вырасти в два раза и достигнуть 60 тыс. пластин в месяц, а в 2030–2035 гг. может превысить отметку в 100–150 тыс. пластин ежемесячно.

### Перезагрузка отечественной микроэлектроники

Для того чтобы снизить зависимость ключевых российских компаний от внешних поставок, потребуется перезагрузка всей отечественной отрасли микроэлектроники. Для комплексного решения этой задачи необходимо одновременно рассматривать два горизонта — краткосрочный и долгосрочный.

*В краткосрочной перспективе* ключевая цель — не допустить остановку высокотехнологичных производств и обеспечить критическую потребность промышленности в чипах с проектными нормами более 90 нм.

В России, как и в абсолютном большинстве других стран, производителей полного цикла немного; среди них можно выделить компании «Микрон» и «Ангстрем». Также производственные мощности имеются у компаний НМ-Тех и Crocus Nano Electronics. Среди дизайн-центров (fabless-компаний<sup>2</sup>) наиболее заметны «Эльбрус» и «Байкал электроникс». В настоящее время в России выпускается критичная номенклатура микрочипов, однако текущих производственных мощностей для покрытия спроса даже в базовом уровне >90 нм не хватает, и существует более чем трехкратный разрыв между спросом со стороны промышленности и фактическим объемом производства.

<sup>1</sup> Спрос на микрочипы приводится в пластинах диаметра 200 мм, на каждую из которых, в зависимости от типа чипа, может быть нанесено от нескольких сотен до нескольких тысяч чипов.

<sup>2</sup> Компании-производители, специализирующиеся исключительно на разработке и продаже чипов, которые производятся на мощностях подрядчиков (контрактное производство).

При этом в России наблюдается ситуация, в которой, несмотря на явно неудовлетворенный спрос, более 70% мощностей (в собственности компаний НМ-Тех (выкуплены у обанкротившейся «Ангстрем-Т») и Crocus Nano Electronics) не запущено в эксплуатацию. Так, потенциальная производственная мощность оборудования для производства чипов на базовом уровне (>90 нм) в России составляет 26 тыс. пластин в месяц, а фактически используемые мощности позволяют производить всего 8 тыс. Таким образом, запуск производства и настройка его по базовому технологическому процессу могут почти полностью закрыть текущие потребности со стороны промышленности, которые сегодня составляют 30 тыс. пластин ежемесячно, и обеспечить выполнение ключевых задач по формированию устойчивой базы для дальнейшего развития отрасли. Однако с учетом прогнозируемого роста спроса в связи с целями по импортозамещению во многих отраслях необходимо значительное масштабирование производства чипов.



Одним из вызовов для расширения производства чипов является отсутствие в России собственного оборудования для производства кремниевых пластин и нанесения на них рисунка (фотолитография). При этом проекты создания такого оборудования существуют, но значительно отстают от ведущих мировых производителей. Так, в рамках программы разработки фотолитографического оборудования к 2027 г. планируется создание оборудования для проектных норм 90 нм, в то время как уже сейчас существуют образцы для проектных норм 5 нм и менее. Как мы отмечали выше, микрочипы по нормам 45–90 нм сегодня не столь востребованы со стороны промышленности, поэтому следующей задачей становится развертывание производства чипов продвинутого уровня (менее 45 нм). У отечественных дизайн-центров «Эльбрус» и «Байкал электроникс» имеются технологии для проектирования чипов необходимых норм (ранее такие чипы производились на мощностях тайваньской TSMC), однако для локализации производства данного уровня технологий требуются кремниевые пластины большего диаметра (300 мм), чем те, что используются для проектных норм 90 нм и выше, и соответствующее фотолитографическое оборудование.

Еще одним вызовом для локализации производства является отсутствие в стране производства расходных материалов необходимого качества, таких как газы, фоторезист, фотошаблоны.

С учетом того, что переход производства микрочипов на новые проектные нормы происходит каждые 2–3 года, наиболее простым решением может стать закупка бывшего в употреблении оборудования у производителей из стран Юго-Восточной Азии.

## РФ необходимо наладить массовое производство кремниевых пластин, высокочистых газов и качественного современного фоторезиста

Материалы	Мировые производители <sup>1</sup>	Отечественные производители	Основные вызовы для РФ
<b>Кремниевые пластины</b> Полуфабрикат из кремния, тонкие круглые пластины, на которые наносится рисунок ИС (чипов)			Отсутствует массовое производство кремниевых пластин необходимого диаметра (200 и 300 мм) и качества из-за отсутствия оборудования для выращивания кристаллов. Есть возможность закупать оборудование или кремниевые пластины у компаний из дружественных стран (Okmetic, Lanco).
<b>Газы</b> Газы высокой степени очистки (>99,9999%), используемые при легировании и травлении, напр. азот, аргон, неон			Отсутствуют технологии, позволяющие достигнуть высокой чистоты газов, необходимой для использования в процессе производства пластин.
<b>Фоторезист</b> Полимерный материал, который наносят на кремниевые пластины для фотолитографии			Производится фоторезист по технологии выше 100–150 нм, качество фоторезиста хуже аналогов.
<b>Фотошаблон</b> Стекланная пластина или полимерная пленка с узором из прозрачных и непрозрачных областей для фотолитографии			Имеются технологии производства фотошаблонов на технологии выше 65 нм, однако при производстве используются импортные стекла и оборудование.

Источник: открытые источники, интервью с отраслевыми экспертами, анализ "Яков и Партнёры"

<sup>1</sup> Неисчерпывающий список

### Цена вопроса

По нашим оценкам, уже к 2030 г. возможно наладить локальное производство фотолитографического оборудования и оборудования для выращивания кристаллов, а также обеспечить производства отечественными расходниками и материалами (например фоторезист и фотошаблоны). При этом общие инвестиции для расширения локального производства и субсидирования научно-исследовательских работ могут составить порядка 400–500 млрд рублей, половина из которых — бюджетные средства. На начальных этапах развития отрасль не будет рентабельной, поэтому понадобится серьезная поддержка государства, в особенности в области НИОКР.

Больше половины этих инвестиций должны приходиться на капитальные затраты, модернизацию существующих производственных площадок, а также создание новых линий по производству чипов и кремниевых пластин диаметром 200 мм.

Подобные инвестиции позволят обеспечить базовый уровень развития отрасли, создать фундамент для перехода на более современные технологические процессы и в конце концов отказаться от импорта.

*В долгосрочной перспективе до 2040 г. в стране, тем не менее, необходимо развить собственные компетенции в разработке и изготовлении не только базовых, но и современных чипов.*

Для достижения этой цели и дальнейшего развития отрасли потребуются дополнительные инвестиции в размере до 300 млрд рублей. Данные средства будут необходимы для дальнейшего стимулирования научно-исследовательских работ по всей цепочке создания добавленной стоимости, а также непрерывного финансирования научной деятельности в сфере разработки программного обеспечения и создания дизайн-центров (fabless-компаний) для расширения номенклатуры отечественной микроэлектроники.

Рост производственных мощностей позволит России создать дополнительный стимул для развития других отраслей и кооперации с дружественными странами. Так, при

реализации обозначенных инвестиций к 2030 г. есть возможность полностью закрыть растущий внутренний спрос на критическую номенклатуру чипов, а также создать значительный стимул для развития отечественной высокотехнологичной продукции, например определенной номенклатуры потребительской электроники.

При этом важно понимать, что данные производственные задачи невозможно решить без обеспечения отрасли высококвалифицированными технологами.



## К рубежу 2040 г. и далее: кубиты и графен

Развитие микроэлектроники в основном происходит плавно, однако каждые 15–20 лет появляются новые технологии, которые могут полностью изменить отрасль. Особенно это заметно на примере эволюции индивидуальных хранителей информации, которые за 50 лет прошли путь от 20-сантиметровой дискеты объемом в 80 Кб к 15-миллиметровой MicroSD-карте объемом в 1 Тб. На наших глазах развивается новая архитектура вычислительных процессов, которая имитирует работу человеческого мозга. Использование готовых продуктов на основе нейроморфных чипов позволит значительно повысить возможности обучения «железа», что важно для развития искусственного интеллекта.

Лидеры глобального рынка сейчас заняты созданием квантовых компьютеров, использующих вместо битов кубиты и позволяющих производить моментальные вычисления (в отличие от традиционных компьютеров, которые производят вычисления последовательно). Машины, применяющие такие технологии, будут способны быстро обрабатывать сложнейшие модели, которые позволят совершать фундаментальные прорывы в таких отраслях, как финансы, фармацевтика, транспорт, информационная безопасность. В России также ведутся разработки технологий в области квантовых коммуникаций и вычислений, которые спонсируются и курируются крупными отечественными компаниями.

С точки зрения технологии производства чипов изменение позиций России в микроэлектронике возможно в том числе за счет инвестиций в революционные разработки в сфере новых полупроводниковых материалов. В стране есть ресурсная база для создания таких новых материалов, как синтетические алмазы, германен и графен, которые могут либо полностью заменить кремний, либо закрыть ниши, где использовать кремний сложно из-за его физических свойств и характеристик.

## **Вопреки ограничениям**

Объем рынка микрочипов в 2021 г. составил 555 млрд долларов; ожидается, что в 2022 г. он превысит 600 млрд, а к 2030 г. вырастет еще в полтора раза и достигнет 940 млрд долларов. Микрочипы уже называют «новой нефтью», и крупные экономики наращивают инвестиции в эту отрасль.

Доля России на этом рынке составляет сейчас менее 1%. Но при соблюдении обозначенного масштаба инвестиций в кадры, технологии и оборудование Россия сможет, вопреки давлению, наладить выпуск микросхем в базовом сегменте в необходимом количестве на рубеже 2027–2028 гг., а к 2030 г. полностью обеспечить внутренний спрос по критичной номенклатуре микрочипов. Однако для достижения этих показателей необходимо начать действовать уже сегодня, так как в глобальной гонке за технологический суверенитет с каждым днем участвует все больше стран, и ставка в этой гонке — устойчивость промышленности и производства в целом.



**Если хотите обсудить данную публикацию,  
свяжитесь с ее авторами**

**Тигран Саакян**, партнёр  
[Tigran\\_Saakyan@yakov.partners](mailto:Tigran_Saakyan@yakov.partners)

**Марсель Сираев**, менеджер проектов  
[Marsel\\_Siraev@yakov.partners](mailto:Marsel_Siraev@yakov.partners)

**Ростислав Шамиловский**, консультант  
[Rostislav\\_Shamilovskiy@yakov.partners](mailto:Rostislav_Shamilovskiy@yakov.partners)



 YakovPartners yakov.partners yakov-partners

**Микроэлектроника России:  
от дефицита к технологической  
независимости**

Тигран Саакян, партнёр

Марсель Сираев, менеджер проектов

Ростислав Шамиловский, консультант

Екатерина Старова, дизайнер

Ольга Родионова, редактор и переводчик

Компания «Яков и Партнёры» продолжает лучшие практики стратегического консалтинга, заложенные в России в 1993 г. После переименования в 2022 г. ООО «Мак-Кинзи и Компания СиАйЭс» управляется командой российских партнеров из «большой тройки», которые представляют экспертизу в основных отраслях страны. Мы поддерживаем компании в горнорудной промышленности и металлургии, строительстве, нефтегазовой сфере, машиностроении, энергетике, сельском хозяйстве, госсекторе и обрабатывающей промышленности. В сфере услуг – ведущие банки и финтех-компании, транспортно-логистические корпорации, телекоммуникационные компании и компании розничной торговли и туризма. Наша команда – это управленцы с опытом руководства компаниями, создания новых бизнесов и реструктуризации проблемных активов, а также международные отраслевые эксперты. Всего в «Яков и Партнёры» работают более 200 человек.

За дополнительной информацией и разрешением на перепечатку обращайтесь по адресу [media@yakov.partners](mailto:media@yakov.partners).  
Чтобы ознакомиться с нашими другими исследованиями и публикациями, посетите сайт [yakov.partners](http://yakov.partners)

© «Яков и Партнёры» 2022. Все права защищены.