

---

С.А. Ильина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ  
В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ:  
МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?  
(на примере сегмента оборудования  
для производства полупроводников)

Москва  
Институт экономики РАН  
2023

Рецензенты:  
д.с.н., к.э.н. С.Г. Кирдина-Чэндлер  
к.э.н. Н.Ю. Ахапкин

**Ильина С.А.** Технологический суверенитет в полупроводниковой промышленности: миф или реальность? (на примере сегмента оборудования для производства полупроводников): Научный доклад. — М: Институт экономики РАН, 2023. — 72 с.

ISBN 978-5-9940-0744-0

В докладе предпринята попытка ответить на вопрос о существовании принципиальной возможности развития национальной полупроводниковой промышленности до состояния, соответствующего критериям технологического суверенитета. В связи с тем, что глобальная цепочка создания стоимости полупроводников характеризуется сложной структурой и требует обширных исследований, работа сфокусирована на наиболее «узком месте» цепочки — сегменте оборудования для производства полупроводников. В докладе также изучен подход двух стран — Китая и России — к развитию национального сегмента полупроводникового оборудования в условиях санкционных ограничений. Проведено сравнение реализации мер государственной поддержки, определены успешные практики и выявлен потенциал укрепления и расширения сотрудничества между рассматриваемыми странами.

**Ключевые слова:** технологический суверенитет, полупроводниковая промышленность, микроэлектроника, электронное машиностроение, оборудование для производства полупроводников, полупроводниковое оборудование, глобальная цепочка создания стоимости полупроводников, технологическая блокада, технологические санкции.

**Классификация JEL:** F02, F51, F52, L11, L52, L63.

**Ильина С.А.** Technological sovereignty in the semiconductor industry: myth or reality? (using the example of the semiconductor manufacturing equipment segment): Scientific report. — M: Institute of Economics, RAS, 2023. — 72 p.

The report attempts to answer the question about the existence of a fundamental possibility of developing the national semiconductor industry to a state that meets the criteria of technological sovereignty. In connection with the fact that global semiconductor value chain is characterized by a complex structure and requires extensive research, the work is focused on the most 'bottleneck' of the chain — the semiconductor manufacturing equipment segment. The report also examines the approach of two countries, China, and Russia, to the development of the national semiconductor equipment segment in the context of sanctions restrictions. The implementation of state support measures was compared, successful practices were identified and the potential for strengthening and expanding cooperation between the countries under consideration was revealed.

**Keywords:** technological sovereignty, semiconductor industry, microelectronics, electronic engineering, semiconductor manufacturing equipment, semiconductor equipment, global semiconductor value chain, technological blockade, technological sanctions.

**JEL Classification:** F02, F51, F52, L11, L52, L63.

© Ильина С.А., 2023  
© Институт экономики РАН, 2023  
© Валериус В.Е., дизайн, 2007

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
<b>Глава I. Глобальный рынок полупроводникового оборудования .....</b>	<b>8</b>
1. Глобальная цепочка создания стоимости полупроводников .....	8
2. Глобальные производители полупроводникового оборудования .....	9
3. География продаж полупроводникового оборудования ...	13
<b>Глава II. Курс на технологический суверенитет: Китай .....</b>	<b>16</b>
1. Глобальная технологическая блокада полупроводниковой промышленности Китая .....	16
2. Подход Китая к развитию сегмента полупроводникового оборудования в условиях санкций .....	22
<b>Глава III. Курс на технологический суверенитет: Россия .....</b>	<b>43</b>
1. Глобальная технологическая блокада полупроводниковой промышленности России .....	43
2. Подход России к развитию сегмента полупроводникового оборудования в условиях санкций .....	46
Заключение .....	67
Литература .....	70

## ВВЕДЕНИЕ

Полупроводники (известные также как чипы, микросхемы) являются критически важным компонентом для любого электронного устройства. Они широко применяются не только во всех отраслях промышленности, но и в повседневной жизни практически каждого домохозяйства. Чипы используются в таких устройствах, как проездные билеты, банковские и социальные карты, рабочие пропуска, смартфоны, планшеты, ноутбуки, а также в бытовой электронике.

После введения глобальной технологической блокады в 2022 г. российские производители электроники столкнулись с новыми вызовами. С одной стороны, спрос на их продукцию многократно вырос, с другой стороны, санкции перекрыли каналы международной кооперации и поставок. Производители электронных устройств оказались отрезаны от авторизованных поставок импортных чипов, российские разработчики чипов лишились доступа к зарубежным фабрикам, а отечественные фабрики столкнулись с трудностями в замещении зарубежных материалов, технологического оборудования и запасных частей к нему. Россия, несмотря на то что входит в число 15 стран, обладающих собственным полупроводниковым производством и инженерной школой в этой области<sup>1</sup>, не располагает развитым сегментом производства полупроводникового обо-

---

1. Покровский И., Механик А. Во-первых – люди, во-вторых – технологии, в-третьих – инвестиции // СТИМУЛ. Журнал об инновациях в России. 2023. 23 янв. <https://stimul.online/articles/sreda/vo-pervykh-lyudi-vo-vtorykh-tehnologii-v-tretikh-investitsii/>

рудования. Отсутствие такого оборудования делает невозможным выпуск даже одного чипа. Более того, для его производства может быть задействовано до 200 единиц оборудования. В этих условиях Россия была вынуждена начать развивать собственное электронное машиностроение, чтобы больше ни при каких обстоятельствах не потерять способность к выпуску микроэлектроники<sup>2</sup>.

Однако Россия не единственная страна, которая столкнулась с санкционными ограничениями. В отношении Китая в 2022–2023 гг. были усилены глобальные технологические санкции, что повлекло за собой ограничение доступа к полупроводниковому оборудованию и для этой страны. В связи с этим Китай активизировал свои усилия по развитию национального сегмента полупроводникового оборудования.

Как отметил заместитель председателя правительства Чернышенко Д.Н., текущая ситуация показала, что микроэлектроника является одним из самых востребованных и перспективных направлений на ближайшие годы, а ее развитие является неотъемлемой составляющей в обеспечении технологического суверенитета. Мы являемся свидетелями формирования локальных закрытых технологических региональных экосистем в мире с опорой на собственную производственную базу. Эпоха глобализации в мировом полупроводниковом производстве подошла к концу, и России остается только один путь – создание собственной высокотехнологичной электронной промышленности<sup>3</sup>.

В российских нормативных правовых документах обозначены разные точки зрения на то, что следует понимать под технологическим суверенитетом. В контексте настоящего доклада будет использована формулировка, предложенная для определения данного термина в Концепции технологического развития на период до 2030 г.: «**технологический суверенитет** – наличие в стране (под национальным контролем) критических и сквозных технологий собственных линий разработки и условий производства продукции

- 
2. Василий Шпак: без суверенной микроэлектроники не бывает суверенитета // РИА Новости. 2023. 1 ноя. <https://ria.ru/20231101/shpak-1906499130.html?ysclid=loi6aud4uc371229594>
  3. Дмитрий Чернышенко: Крупный бизнес начинает рассматривать микроэлектронику в качестве инвестиционно привлекательной сферы. Правительство России. 2022. 3 окт. <http://government.ru/news/46689>

на их основе, обеспечивающих устойчивую возможность государства и общества достигать собственные национальные цели развития и реализовывать национальные интересы. Технологический суверенитет обеспечивается в 2 основных формах – исследования, разработка и внедрение критических и сквозных технологий (по установленному перечню) и производство высокотехнологичной продукции, основанное на указанных технологиях. Технологический суверенитет обеспечивается в том числе с опорой на устойчивое международное научно-техническое сотрудничество с дружественными странами»<sup>4</sup>.

На основе вышеизложенного возникает вопрос о существовании принципиальной возможности развития национальной полупроводниковой промышленности до состояния, соответствующего критериям технологического суверенитета. В настоящем исследовании автор предпримет попытку ответить на него.

В связи с тем, что полупроводниковая промышленность имеет сложную организацию и требует объемных исследований, настоящий доклад будет сфокусирован на наиболее «узком месте» цепочки создания стоимости полупроводников – сегменте оборудования для производства полупроводников. Кроме того, в работе будет исследован подход двух стран – Китая и России – к развитию национального сегмента полупроводникового оборудования. Это позволит сравнить практическую реализацию мер по развитию национального сегмента в условиях санкционных ограничений, принять во внимание успешные практики, а также рассмотреть возможность укрепления и развития кооперации между этими странами.

*Цель исследования:* охарактеризовать возможность обеспечения технологического суверенитета в полупроводниковой промышленности на примере сегмента оборудования для производства полупроводников.

*Методология исследования* базируется на общенаучных и специальных методах познания: логическом и системном анализе, синтезе, методах сравнения, сбора и описания данных. В ходе исследования использовались следующие источники: нормативные право-

---

4. Распоряжение Правительства РФ от 20 мая 2023 г. № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года». Гарант. <https://internet.garant.ru>

вые документы, информационные материалы органов власти, аналитические отчеты международных организаций, интернет-сайты компаний полупроводниковой промышленности, оценки экспертов, научная литература, информация периодической печати и др.

*Научная новизна исследования* заключается в комплексной характеристике китайского и российского сегмента оборудования для производства полупроводников и выявлении перспектив достижения технологического суверенитета.

Доклад подготовлен в рамках научного направления «Экономическая политика» Института экономики РАН по теме государственного задания «Формирование научно-технологического контура и институциональной модели ускорения экономического роста в Российской Федерации».

## ГЛОБАЛЬНЫЙ РЫНОК ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### 1. Глобальная цепочка создания стоимости полупроводников

Современная *глобальная цепочка создания стоимости полупроводников* (далее — ГЦСП) состоит из семи основных сегментов (рис. 1), которые служат для преобразования экономических затрат в конечные продукты. После прохождения всех этапов полупроводниковая продукция переходит на этап конечного использования, включая интеграцию готовых чипов в электронные устройства. В полупроводниковой промышленности глобальная цепочка чрезвычайно сложна, сегментирована и интернациональна. Каждый сегмент этой цепочки представляет отношения между поставщиками и заказчиками, будь то внутри одной или между различными организациями. Некоторые компании выполняют разнообразные функции, другие специализируются на узких областях, но ни одна отдельная компания, и даже ни одна страна в мире, в настоящее время не способна самостоятельно осуществлять все функции в глобальной цепочке всех типов полупроводников, необходимых для современной экономики<sup>5</sup>.

---

5. Thadani A., Allen G. C. Mapping the Semiconductor Supply Chain: The Critical Role of the Indo-Pacific Region. CSIS. May 30, 2023. <https://www.csis.org/analysis/mapping-semiconductor-supply-chain-critical-role-indo-pacific-region>

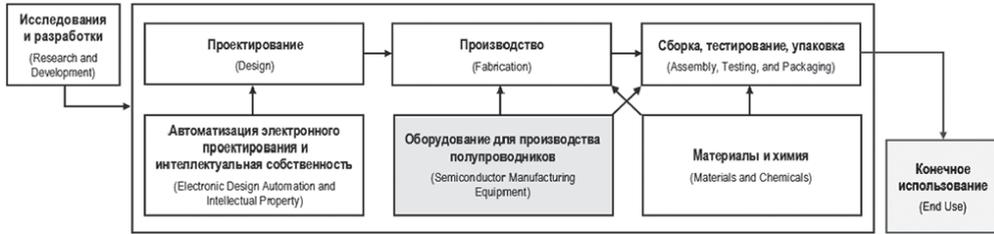


Рис. 1. Глобальная цепочка создания стоимости полупроводников

Источник: адаптировано автором по: Khan S.M., Mann A., Peterson D. The Semiconductor Supply Chain: Assessing National Competitiveness. CSET. January 2021. <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/The-Semiconductor-Supply-Chain-Issue-Brief.pdf>

Наиболее «узким местом» ГЦСП является *сегмент оборудования для производства полупроводников* (Semiconductor Manufacturing Equipment – SME) (далее – *SME-сегмент*). Компании, входящие в него, занимаются проектированием, производством, маркетингом, ремонтом и обслуживанием всего оборудования, используемого в производстве полупроводников.

## 2. Глобальные производители полупроводникового оборудования

В настоящее время рынок оборудования для производства полупроводников считается зрелым и географически сконцентрированным, с ограниченным числом крупных вендоров, расположенных в нескольких странах<sup>6</sup> (табл. 1).

Суммарно пять ведущих производителей обеспечивают почти 66% мировых поставок (рис. 2).

В отличие от других сегментов ГЦСП индустрия полупроводникового оборудования довольно взаимозависима от всех игроков, что не позволяет какой-либо одной компании доминировать. Связано это с тем, что производители чипов нуждаются в поставках оборудования от всех основных поставщиков из-за их уникальных технологий. Например, *Tokyo Electron* является практически

6. VerWey J. The Health and Competitiveness of the U.S. Semiconductor Manufacturing Equipment Industry. Office of Industries. Working Paper ID-058. July 2019. [https://www.usitc.gov/publications/332/working\\_papers/id\\_058\\_the\\_health\\_and\\_competitiveness\\_of\\_the\\_sme\\_industry\\_final\\_070219checked.pdf](https://www.usitc.gov/publications/332/working_papers/id_058_the_health_and_competitiveness_of_the_sme_industry_final_070219checked.pdf)

Таблица 1. География основных производителей полупроводникового оборудования

Регион	Страна (штаб-квартира)	Компания
Северная Америка	США	Applied Materials, Lam Research, KLA, Teradyne, Plasma-Therm, Veeco, Onto Innovation, Modutek, Semiconductor Equipment Corporation
Европа	Нидерланды	ASML, ASM
	Швейцария	Evatec
	Австрия	Ev Group
Азиатско-Тихоокеанский регион	Япония	Tokyo Electron, Screen, Advantest, Hitachi High-Tech, Nikon, Canon, Kokusai Electric
	Р. Корея	Semes

Источник: составлено автором по данным сайтов компаний.

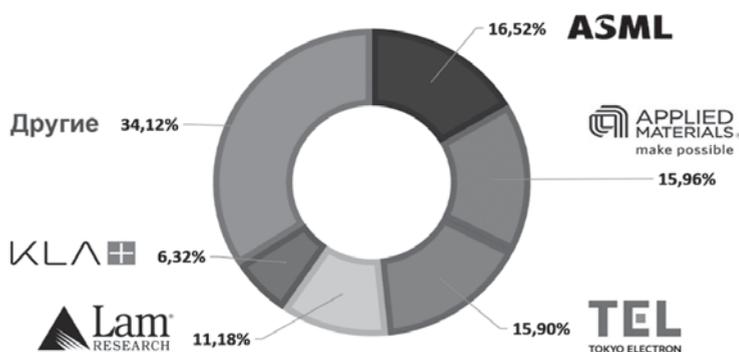


Рис. 2. Доля рынка ТОП-5 производителей полупроводникового оборудования в 2020 г.

Источник: составлено автором по: Comparison KLA-Tencor Vs Applied Materials Vs Lam Research // Seeking Alpha. Nov 16, 2021. <https://seekingalpha.com/instablog/52476705-crimac/5663618-comparison-kla-tencor-vs-applied-materials-vs-lam-research>

незаменимым вендором, поскольку его устройство для нанесения покрытий на кремниевые пластины занимает почти 90% рынка<sup>7</sup>, в то же время ASML является единственным в мире поставщиком полупроводниковых литографических EUV-систем. Ведущие производители работают в тесной кооперации друг с другом, причем

7. Tokyo Electron: Unwise Not To Consider This Semiconductor Equipment Leader // Seeking Alpha. Jun 08, 2022. <https://seekingalpha.com/article/4517065-tokyo-electron-consider-semiconductor-equipment-leader>

Таблица 2. Инвестиции в НИОКР ведущих мировых производителей полупроводникового оборудования

Компания	Страна (штаб-квартира)	2020		2021		2022	
		в млрд долл.	в % к выручке	в млрд долл.	в % к выручке	в млрд долл.	в % к выручке
ASML	Нидерланды	2,688*	15,7	2,897*	13,7	3,488*	15,4
Applied Materials	США	2,234	13,0	2,485	10,8	2,771	10,7
Lam Research	США	1,252	12,5	1,493	10,2	1,604	9,3
Tokyo Electron	Япония	1,105	10,7	1,234	9,8	1,293	7,9
KLA	США	0,864	14,9	0,928	13,4	1,105	12,0
Всего:		8,143		9,037		10,261	

\* Пересчитано из евро в доллары по установленному курсу на 31 декабря отчетного года: 2020 год – 1 EUR = 1,2216 USD; 2021 год – 1 EUR = 1,1374 USD; 2022 год – 1 EUR = 1,0720 USD (с использованием онлайн конвертера валют Exchange-Rates.org. <https://www.exchange-rates.org>).

Источник: составлено и рассчитано автором по данным годовых отчетов компаний (2022 Annual Report. ASML. <https://www.asml.com/en/investors/annual-report/2022>; 2021 Annual Report. ASML. <https://www.asml.com/en/investors/annual-report/2022>; 2022 Annual Report. Applied Materials. <https://ir.appliedmaterials.com/annual-report-proxy/>; 2022 Annual Report. Lam Research. <https://investor.lamresearch.com/annual-reports-and-proxy>; 2022 Integrated Report. Tokyo Electron. <https://www.tel.com/ir/library/ar/index.html>; 2021 Integrated Report. Tokyo Electron. <https://www.tel.com/ir/library/ar/index.html>; 2020 Annual Report. Tokyo Electron. <https://www.tel.com/ir/library/ar/index.html>; 2022 Annual Report. KLA. <https://ir.kla.com/financial-information/annual-reports>).

начиная с ранней стадии – разработки, поскольку все оборудование в итоге должно быть скомпоновано в единую технологическую линию<sup>8</sup>.

В то же время на сегодняшний день сохраняются существенные барьеры для входа новых игроков на рынок. В первую очередь речь идет о необходимости осуществления высоких инвестиционных вложений в НИОКР, которые измеряются миллиардами долларов. Между тем это происходит еще до рассмотрения затрат, связанных с производством и сертификацией заказчиков<sup>9</sup>. Из приведенных в табл. 2 данных видно, что расходы ведущих производителей на НИОКР в 2020–2022 гг. составляли от 7,9 до 15,7% от выручки.

8. *Ting-Fang Ch.* ASML says decoupling chip supply chain is practically impossible // Nikkei Asia. Jun 22, 2023. <https://asia.nikkei.com/Business/Tech/Semiconductors/ASML-says-decoupling-chip-supply-chain-is-practically-impossible>
9. Comparison KLA-Tencor Vs Applied Materials Vs Lam Research // Seeking Alpha. Nov 16, 2021. <https://seekingalpha.com/instablog/52476705-crimac/5663618-comparison-kla-tencor-vs-applied-materials-vs-lam-research>

Несмотря на то что у компаний в 2021 и 2022 г. наблюдалось некоторое снижение относительного показателя по сравнению с 2020 г., в абсолютной величине затраты на НИОКР напротив показывали ежегодный прирост. По совокупному результату увеличение произошло на 11,0 и 13,5% в 2021 и 2022 г., год к году соответственно. Суммарный объем инвестиций в НИОКР пятерки ведущих вендоров в 2022 г. превысил 10 млрд долл.

Ведущие производители в своих отчетах отмечают, что крайне важно продолжать вкладывать значительные средства для разработки продуктов с использованием новых и перспективных технологий, отвечающих текущим и прогнозируемым требованиям самых передовых разработок клиентов, чтобы иметь конкурентное преимущество на рынке полупроводникового оборудования. Кроме того, ведущие мировые вендоры, базирующиеся в США, Нидерландах и Японии, обладают обширными портфелями патентов и командами инженеров мирового класса, что делает чрезвычайно сложной конкуренцию с ними<sup>10</sup>. Совмещение объемных капиталовложений и человеческого капитала в результате позволяет компаниям не только присваивать высвободившуюся интеллектуальную ренту, но и реинвестировать полученную выручку. Тем самым происходит сопряжение инновационного и инвестиционного контуров, постоянное переоснащение производства и замыкание цикла производства конкурентного полупроводникового оборудования в рамках узкой группы вендоров.

В этом отношении важно рассмотреть опыт Китая, который систематически наращивает объемы поддержки индустриального сектора, в частности создания полупроводникового оборудования. В результате на долю китайских производителей такого оборудования приходится около 5% глобального рынка, однако ни один из них не является ведущим вендором<sup>11</sup>. Проблемой китайских производителей является то, что оборудование зарубежных конкурентов уже работает и обладает высочайшими технологическими

- 
10. *Hunt W., Khan S.M., Peterson D.* China's Progress in Semiconductor Manufacturing Equipment. Accelerants and Policy Implications. CSET Policy Brief. CSET. March 2021. <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/CSET-Chinas-Progress-in-Semiconductor-Manufacturing-Equipment.pdf>
  11. *Foster S.* Sanctions move China to replace chips supply chain // Asia Times. Jan 27, 2023. <https://asiatimes.com/2023/01/sanctions-move-china-to-replace-chips-supply-chain/>

и эксплуатационными характеристиками. Это заставляет даже китайских покупателей колебаться при выборе поставщиков. В продвинутых технологиях китайским игрокам сложно закрепиться, поскольку они не могут научиться производить передовые продукты, пока у них не будет большого опыта работы на рынке, а они не могут приобрести такой опыт, потому что мало кто заинтересован в покупке их оборудования. В зрелых технологиях, где китайские производители имеют жизнеспособные предложения, они сталкиваются с высокой конкуренцией со стороны иностранных поставщиков<sup>12</sup>.

Доля России на глобальном рынке полупроводникового оборудования находится в пределах статистической погрешности, поскольку лишь несколько небольших компаний осуществляют свою деятельность в этой сфере. Передовое оборудование в нашей стране не производится.

### 3. География продаж полупроводникового оборудования

Объем глобального рынка оборудования для производства полупроводников в 2022 г. оценивался в 107,64 млрд долл., при этом почти 95% потребителей сконцентрировано в трех макро-регионах: Азиатско-Тихоокеанском, Северной Америке и Европе (табл. 3). Доминирующим является Азиатско-Тихоокеанский, с почти 79%-ной долей, поскольку значительный объем мировых инвестиций в производственные мощности полупроводниковой промышленности приходится именно на этот регион<sup>13</sup>.

В 2020 г. Китай впервые заявил о себе как о крупнейшем рынке сбыта полупроводникового оборудования в мире, на долю которого пришлось 26,29% от общего объема продаж<sup>14</sup>, удержал

- 
12. Allen G. C. China's New Strategy for Waging the Microchip Tech War. CSIS. May 03, 2023. <https://www.csis.org/analysis/chinas-new-strategy-waging-microchip-tech-war>
  13. См. подр.: Ильина С.А. Российская микроэлектроника: в поисках альтернативных поставщиков на востоке / В сборнике: Экономическая и технологическая модернизация России: уроки истории и современные вызовы. Памяти Д.Е. Сорокина / Под ред. Н.Ю. Ахапкина. М.: ИЭ РАН, 2022. С. 202–214.
  14. 2020 Global Semiconductor Equipment Sales Surge 19% to Industry Record \$71.2 Billion, SEMI Reports. SEMI. Apr 13, 2021. <https://www.semi.org/en/news-media-press/semi-press-releases/annual-global-semiconductor-equipment-sales>

Таблица 3. География продаж полупроводникового оборудования за 2022 г.

Регион (страна)		Объем продаж	
		в млрд долл.	в % к итогу
Азиатско-Тихоокеанский регион		84,95	78,92
в том числе	Китай	28,27	26,26
	Тайвань	26,82	24,92
	Р. Корея	21,51	19,98
	Япония	8,35	7,76
Северная Америка		10,48	9,74
Европа		6,28	5,83
Остальной мир		5,95	5,53
Всего:		107,64	100

**Примечание:** Суммарные промежуточные итоги не совпадают с общим итогом из-за округления.

*Источник:* составлено и рассчитано автором по: Global Semiconductor Equipment Billings Reach Industry Record \$107.6 Billion in 2022, SEMI Reports. SEMI. Apr 12, 2023. <https://www.semi.org/en/news-media-press-releases/semi-press-releases/global-semiconductor-equipment-billings-reach-industry-record-%24107.6-billion-in-2022-semi-reports>

Таблица 4. География продаж ведущих мировых производителей полупроводникового оборудования за 2022 год, в %

Регион (страна)	ASML (Нидерланды)	Applied Materials (США)	Lam Research (США)	Tokyo Electron (Япония)	KLA (США)
Китай	14	28	31	28	29
Тайвань	38	24	17	18	27
Р. Корея	29	17	23	19	16
Япония	5	8	9	12	8
Северная Америка	9	12	8	13	10
Европа, Ближний Восток и Африка	3	7	4	5	7
Остальной мир	2	4	8	5	3
Всего:	100	100	100	100	100

*Источник:* составлено и рассчитано автором по данным годовых отчетов компаний (2022 Annual Report. ASML. <https://www.asml.com/en/investors/annual-report/2022>; 2022 Annual Report. Applied Materials. <https://ir.appliedmaterials.com/annual-report-proxy/>; 2022 Annual Report. Lam Research. <https://investor.lamresearch.com/annual-reports-and-proxy>; 2022 Integrated Report. Tokyo Electron. <https://www.tel.com/ir/library/ar/index.html>; 2022 Annual Report. KLA. <https://ir.kla.com/financial-information/annual-reports>).

он свое лидерство и в последующие два года с долей, составляющей 28,85<sup>15</sup> и 26,26% в 2021 и 2022 г. соответственно. Трудно переоценить значение китайского рынка для бизнеса ведущих вендоров. Данные табл. 4 показывают, что у четырех из пяти производителей порядка 30% общего объема продаж за 2022 г. пришлось на Китай, в то время как продажи в США были почти в три раза меньше.

Сложно достоверно определить объем поставок оборудования в Россию из-за его крайне малой доли, не отражаемой в мировой статистике. Тем не менее авторы одного из исследований приводят следующие данные: российское потребление оборудования для полупроводниковой промышленности, которое практически все импортное, в 2020 г. составило порядка 64 млн долл.<sup>16</sup> относительно 71,2 млрд долл. глобальных продаж 2020 г.<sup>17</sup> получается где-то в пределах 0,09%.

### *Выводы по первой главе*

Большая часть глобального рынка полупроводникового оборудования контролируется несколькими крупными производителями, которые заняли стабильное положение в отрасли и установили прочные связи с ограниченным числом ключевых клиентов, генерирующих их основной доход.

SME-сегмент является высокотехнологичным и капиталоемким. Он развивался на протяжении десятилетий, привлекая высококвалифицированных ученых и инженеров со всего мира. Ведущие вендоры продолжают инвестировать в исследования и разработки, постоянно совершенствуя свое производство и оборудование, чтобы оставаться впереди в бесконечной гонке технологий. Технические и эксплуатационные характеристики их оборудования становятся все более труднодостижимыми для новичков полупроводникового рынка.

15. 2021 Global Semiconductor Equipment Sales Surge 44% to Industry Record \$102.6 Billion, SEMI Reports. SEMI. Apr 12, 2022. <https://semi.org/en/news-media-press-releases/semi-press-releases/2021-global-semiconductor-equipment-sales-surge-44%25-to-industry-record-%24102.6-billion-semi-reports>
16. Зеленский А.А., Морозкин М.С., Грибков А.А. Обзор полупроводниковой промышленности в мире и России: производство и оборудование // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2021. Т. 26. № 6. С. 468–480. DOI: 10.24151/1561-5405-2021-26-6-468-480.
17. 2020 Global Semiconductor Equipment Sales Surge 19% to Industry Record \$71.2 Billion, SEMI Reports. SEMI. Apr 13, 2021. <https://www.semi.org/en/news-media-press/semi-press-releases/annual-global-semiconductor-equipment-sales>

## КУРС НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ: КИТАЙ

### 1. Глобальная технологическая блокада полупроводниковой промышленности Китая

В последние годы США при поддержке союзнических государств постепенно ограничивали возможности китайских и российских компаний приобретать передовые технологии производства полупроводников в целенаправленной попытке затормозить развитие национальной полупроводниковой промышленности. В 2022 г. обе страны столкнулись с усилением санкционного давления. Однако Китай и Россия имеют разную степень вовлеченности в глобальную кооперацию, что повлияло на подходы к санкционной политике.

Китай является значимым игроком на глобальном рынке полупроводников (рис. 3) и крупнейшим в мире рынком сбыта оборудования для выпуска чипов. Полная блокада восточной страны, в отличие от такой меры в отношении России, неминуемо привела бы к обрушению ГЦСП, что абсолютно неприемлемо для США и их союзников.

В этой связи наложенные ограничения были направлены на сдерживание развития китайской полупроводниковой индустрии в части передовых технологических процессов, а также на ограничение темпов развития. Китаю пока позволено продолжать играть свою роль в международном разделении труда и оставаться мировой фабрикой по производству полупроводников с использованием зрелых технологических процессов. Такой подход позволяет обеспечить доступность чипов по низким ценам на рынке и способствовать устойчивости ГЦСП, в то время как США и их союзники сосредотачиваются на разработке и производстве передовых технологий.

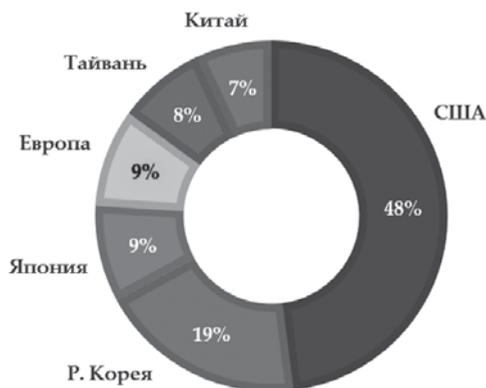


Рис. 3. **Мировой рынок полупроводников по странам в 2022 г.**

*Источник:* составлено автором по: 2023 State of The U.S. Semiconductor Industry. Semiconductor Industry Association. [https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2023/08/SIA\\_State-of-Industry-Report\\_2023\\_Final\\_080323.pdf](https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2023/08/SIA_State-of-Industry-Report_2023_Final_080323.pdf)

Можно укрупненно выделить две волны ограничений, затронувших сферу китайской полупроводниковой промышленности (табл. 5).

Первая волна санкций, которая пришлась на 2018–2020 гг., хотя и носила точечный характер, оказала существенное негативное влияние на китайскую индустрию. Это привело к пересмотру стратегий и планов китайских компаний и правительства, а также к осознанию потенциальных ограничений, с которыми страна может столкнуться в будущем.

Вторая волна санкций, проведенная в 2022–2023 гг., носила уже системный характер. Введенные ограничения затронули все сегменты национальной цепочки создания стоимости полупроводников в части передовых технологий. Что касается исследуемого нами SME-сегмента, то представитель Японского института международных отношений оценил перспективы его развития в новых реалиях следующим образом: «производство передового оборудования становится практически безнадежным делом для Китая, по крайней мере, в краткосрочной и среднесрочной перспективе»<sup>18</sup>.

18. Nagao R. Japan's new chip equipment export rules take effect Sunday // Nikkei Asia. Jul 23, 2023. <https://asia.nikkei.com/Business/Tech/Semiconductors/Japan-s-new-chip-equipment-export-rules-take-effect-Sunday>

Таблица 5. Наиболее чувствительные санкционные ограничения в отношении Китая

Год	Страна / компания	Ограничения	Последствия ограничений
<b>Первая волна санкций</b>			
2018	США	Министерство торговли США запретило американским производителям продавать комплектующие ZTE	Второй по величине китайский телекоммуникационный гигант ZTE, являвшийся на момент введения санкций высокоприбыльной и быстрорастущей компанией, мгновенно оказался на грани разорения
2019	США	Huawei, а также 70 связанных с ней компаний внесены в «черный список» Министерства торговли США из-за угрозы национальной безопасности. Huawei лишился доступа к продукции, произведенной с использованием американских технологий и программного обеспечения, в т.ч. к чипам и высокотехнологичному оборудованию	Телекоммуникационный гигант Huawei на момент введения санкций являлся мировым лидером в области 5G и находился на пике своего развития как ведущий мировой производитель смартфонов на базе Android. Введенные ограничения значительно затруднили его производственную и операционную деятельность, привели к обрушению выручки и буквально вынудили искать пути выживания в сложившихся условиях
2019	ASML (Нидерланды)	Голландский производитель оборудования ASML под давлением США заблокировал поставку литографической EUV-системы, согласованную годом ранее	Попытка Китая стать обладателем первой литографической установки для производства чипов 7-нм и менее не увенчалась успехом. Такие машины в страну не поставлялись и в дальнейшем, в связи с чем Китай по сей день не располагает технологией производства передовых чипов с низкой дефектностью
2020	США	Министерство торговли США внесло 60 компаний из Китая в черный список, ограничивающий доступ к определенным технологиям. Среди них китайский производитель SMIC, который лишился доступа к оборудованию для производства чипов по техпроцессам 10-нм и менее, запчастям, материалам и программному обеспечению	Без этих технологий SMIC (входит в пятерку крупнейших компаний мира в сегменте контрактного производства полупроводников) не только лишается возможности приобретать современное оборудование и разрабатывать новые технологии производства, но и сталкивается с проблемой работоспособности своей фабрики, для обеспечения которой требуются запчасти, материалы и поддержка ПО. В 2023 г. SMIC была вынуждена отложить запуск массового производства полупроводников на ее новой фабрике из-за проблем с закупками оборудования

Год	Страна / компания	Ограничения	Последствия ограничений
<b>Вторая волна санкций</b>			
2022, февраль	США	Министерство торговли США добавило в черный список 33 китайские компании, которым теперь ограничен доступ к определенным технологиям, среди них ведущий китайский производитель полупроводникового оборудования <i>SMEĒ</i>	Данное ограничение существенно затрудняет разработку отечественного оборудования новых поколений (сейчас отставание на несколько поколений от передового уровня), в т.ч. китайского литографа
2022, октябрь	США	Запрет поставок передовых чипов, используемых для суперкомпьютеров и искусственного интеллекта (как американского производства, так и произведенного в других странах с использованием американских технологий, программного обеспечения и оборудования)	Такие мощные чипы, попадающие под экспортный контроль, производят порядка десяти компаний в мире, крупнейшие из них: <i>NVIDIA</i> (США), <i>AMD</i> (США), <i>Cerebras</i> (США), <i>Graphcore</i> (Великобритания). Ограничение поставок повлекло за собой дефицит и повышение цен на высокопроизводительные полупроводники
2022, октябрь	<i>TSMC</i> (Тайвань)	Приостановка производства чипов для искусственного интеллекта китайской разработки	Крупнейший в мире контрактный производитель полупроводников <i>TSMC</i> приостановил производство чипов для искусственного интеллекта китайской разработки для стартапа <i>Biren Technology</i> , чтобы обеспечить соответствие американским ограничениям
2022, октябрь	США	Запрет гражданам и постоянным жителям США работать в китайских полупроводниковых компаниях	Под удар попали сотни американцев китайского происхождения, которые были одними из ключевых фигур в китайских полупроводниковых компаниях, что привело к угрозе серьезных сбоев в работе местных производителей. Невозможность продолжения дальнейшей работы затронула не только инженерный состав, но и генеральных директоров компаний, в т.ч. передовых отечественных производителей оборудования, таких как <i>AMEC</i> , <i>ACM Research</i> , <i>Skyverse Technology</i>
2022, октябрь	США	Ограничение экспорта полупроводникового оборудования для производства передовых чипов: логических микросхем на уровне 14-нм, чипов <i>DRAM</i> на уровне 18-нм и памяти <i>3D NAND</i> на уровне 128 слоев (как американского производства, так и произведенного в других странах с использованием американских технологий, программного обеспечения и оборудования)	Заблокированы поставки передового полупроводникового оборудования, в т.ч. таких ведущих американских вендоров, как <i>Applied Materials</i> , <i>Lam Research</i> , <i>KLA</i>

Год	Страна / компания	Ограничения	Последствия ограничений
2023, июль	Япония	Присоединилась к санкциям США в отношении ограничения экспорта передового полупроводникового оборудования	В экспортный контрольный список добавлено 23 позиции передового полупроводникового оборудования. Среди прочих под ограничение попадают поставки такого ведущего производителя, как <i>Tokyo Electron</i> , а также одного из двух мировых вендоров иммерсионных DUV-систем <i>Nikon</i>
2023, сентябрь	Нидерланды	Присоединились к санкциям США в отношении ограничения экспорта передового полупроводникового оборудования	Под ограничения попадают литографические EUV-системы (голландский <i>ASML</i> единственный производитель в мире) и иммерсионные DUV-системы ( <i>ASML</i> один из двух мировых вендоров). Кроме того, Китай может лишиться возможности обращаться к голландской <i>ASML</i> по вопросам ремонта и наладки ранее закупленного у нее оборудования

Источник: составлено автором.

Представляет интерес санкционный эффект, связанный со спецификой SME-сегмента ГЦСП. После введения американских санкций в октябре 2022 г. экспорт полупроводникового оборудования в Китай резко упал. Однако снижение экспорта в стоимостном выражении в 4 квартале 2022 г. затронуло все три страны, где находятся ведущие производители: США – на 50%, Нидерланды – на 44%, Японию – на 16% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года, хотя две последние на тот момент санкций еще не вводили. Связано это с тем, что без оборудования трех ведущих американских вендоров (*Applied Materials*, *Lam Research*, *KLA*) невозможно сформировать полноценную технологическую линию, поэтому голландское и японское оборудование в моменте стало ненужным<sup>19</sup>.

Стоит отметить, что привилегированные участники глобального рынка не очень стремились присоединиться к американским

19. Chip equipment exports to China tumble as U.S. pushes decoupling // Nikkei Asia. Mar 29, 2023. <https://asia.nikkei.com/Business/Tech/Semiconductors/Chip-equipment-exports-to-China-tumble-as-U.S.-pushes-decoupling>

санкциям и всячески затягивали этот момент. США доминируют в основных технологиях в области полупроводников, но возможности по производству оборудования и чипов распределены между их многочисленными союзниками. У производителей этих союзников отношения с китайскими компаниями основаны на собственных интересах, которые не очень похожи на интересы США<sup>20</sup>. Хотя ведущие мировые вендоры в итоге были вынуждены присоединиться к американским санкциям, но, вероятно, не смирились с таким положением дел. «Война за чипы», инициированная США, нанесла ущерб участникам ГЦСП, которые зарабатывали деньги на китайском рынке. Это вызвало недовольство среди этих компаний, и все большее число из них стало искать способы обойти экспортные ограничения<sup>21</sup>. К примеру, в печати появилась информация о том, что голландская ASML рассматривает возможность выпуска специально «ухудшенных» литографических DUV-систем, которые формально будут соответствовать введенным ограничениям и могут поставяться в Китай без получения специальной лицензии, хотя официально такая инициатива и отрицается представителями компании<sup>22</sup>.

Ряд западных экспертов сходится во мнении, что эскалация «войны за чипы» может иметь неприятные последствия. Это может подтолкнуть Китай к прогрессу в освоении передовых технологий, одновременно нанося ущерб полупроводниковым компаниям США и их союзников. Наблюдается все больше признаков того, что санкционная политика становится все более неэффективной в сдерживании развития китайской полупроводниковой индустрии<sup>23</sup>.

- 
20. *Xijin H.* Huawei, Chinese people won't hold any illusions toward US government // Global Times. Jan 31, 2023. <https://www.globaltimes.cn/page/202301/1284549.shtml>
  21. *Yi W.* China's breakthrough in semiconductor equipment shows US tech blockade is ineffective // Global Times. Jul 14, 2023. <https://www.globaltimes.cn/page/202307/1294391.shtml>
  22. *Shilov A.* Update: ASML Denies Report it Was Working on China-Specific Lithography Tools // Tom's Hardware. <https://www.tomshardware.com/news/asml-may-release-china-specific-versions-of-lithography-tools-report>
  23. *Yi W.* China's breakthrough in semiconductor equipment shows US tech blockade is ineffective // Global Times. Jul 14, 2023. <https://www.globaltimes.cn/page/202307/1294391.shtml>

## 2. Подход Китая к развитию сегмента полупроводникового оборудования в условиях санкций

### *Государственная финансовая поддержка развития национального сегмента полупроводникового оборудования*

Китайское правительство уже давно проводит промышленную политику по развитию национальной полупроводниковой отрасли, однако с 2014 г. эти усилия получили новый толчок, когда был создан Национальный инвестиционный фонд промышленности интегральных схем (National Integrated Circuits Industry Development Investment Fund) с финансовым участием государства в объеме 21 млрд долл. В 2019 г. фонд был докапитализирован более чем на 35 млрд долл. Китай анонсировал также создание более 15 региональных правительственных фондов с совокупным объемом инвестиций в объеме 25 млрд долл., предназначенных для финансирования китайских полупроводниковых компаний. Помимо этого, государственные субсидии, инвестиции в акционерный капитал и кредиты с низкой процентной ставкой добавили еще более 50 млрд долл. в национальную индустрию. Совокупный выделенный объем инвестиций на развитие китайской полупроводниковой отрасли не имеет аналогов ни в одной другой стране мира. Роль китайского правительства в поддержке национальной полупроводниковой отрасли трудно переоценить. Государственная поддержка обеспечила китайским производителям значительное преимущество с точки зрения себестоимости продукции, фактически изолировав их от глобальной рыночной конкуренции<sup>24</sup>.

В последние годы инвестиции Китая стали постепенно смещаться в начало цепочки создания стоимости полупроводников — с конечных сегментов (производства, сборки, тестирования и упаковки чипов) на производство оборудования и материалов. По данным JW Consulting, в 2021–2022 гг. в полупроводниковой отрасли было реализовано 742 инвестиционных проекта общим объемом

---

24. SIA Whitepaper: Taking Stock of China's Semiconductor Industry. Semiconductor Industry Association. Jul 2021. [https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/07/Taking-Stock-of-China%E2%80%99s-Semiconductor-Industry\\_final.pdf](https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/07/Taking-Stock-of-China%E2%80%99s-Semiconductor-Industry_final.pdf)

2,158 трлн юаней (302,8 млрд долл.), из которых 56 проектов в сегменте полупроводникового оборудования в объеме 56,7 млрд юаней (8 млрд долл.), что составило 7,5% от общего числа профинансированных проектов и 2,6% от суммы инвестиций. Для сравнения, в течение 2016–2020 гг. было реализовано всего 7 проектов в SME-сегменте<sup>25</sup>.

В декабре 2022 г. стало известно, что Китай работает над следующим пятилетним пакетом поддержки своей полупроводниковой отрасли объемом более 1 трлн юаней (143 млрд долл.). Большую часть финансовой помощи планируется направить на субсидирование закупок отечественного полупроводникового оборудования китайскими производителями чипов<sup>26</sup>.

### *Государственные программы привлечения талантов*

Многие годы Китай активно поощрял этнических китайцев, обладателей специализированных ноу-хау и отраслевых знаний, возвращаться домой, чтобы преподавать в ведущих университетах или создавать компании. Программа «Тысяча талантов» (Thousand Talents Plan), действовавшая в 2008–2018 гг., была направлена на привлечение еще большего числа зарубежных талантов, в т.ч. и иностранных высококвалифицированных специалистов, для развития национальной промышленности<sup>27</sup>.

Согласно сообщениям Reuters, Китай, спустя несколько лет, тайно возродил программу по привлечению талантов из-за рубежа под новым названием «Qiming», курируемую Министерством промышленности и информационных технологий (Ministry of Industry and Information Technology). В рамках новой программы ведется подбор сотрудников из научной и технологических сфер, включающих «чувствительные» или «секретные» области, такие как полу-

---

25. Lin J. China invested US\$290.8 billion in semiconductor projects between 2021–2022 // DigiTimes. Jun 27, 2023. <https://www.digitimes.com/news/a20230627VL205/china-ic-manufacturing-semiconductor-chips+components.html?chid=10>

26. Zhu J. Exclusive: China readying \$143 billion package for its chip firms in face of U.S. curbs // Reuters. Dec 14, 2022. <https://www.reuters.com/technology/china-plans-over-143-bln-push-boost-domestic-chips-compete-with-us-sources-2022-12-13/>

27. Ting-Fang Ch. China's 'sea turtle' tech executives stranded by U.S. crackdown // Nikkei Asia. Oct 11, 2022. <https://asia.nikkei.com/Business/Tech/Semiconductors/China-s-sea-turtle-tech-executives-stranded-by-U.S.-crackdown>

проводники. Новые инициативы направлены на подбор персонала элитного уровня. Предпочтение отдается кандидатам, прошедшим обучение в ведущих зарубежных вузах, имеющим докторскую степень и опыт работы на руководящих должностях в зарубежных академических институтах или крупных компаниях. Обновленная программа предлагает различные преференции, такие как субсидии на покупку жилья и бонусы при подписании контракта в размере от 3 до 5 млн юаней (от 420 до 700 тыс. долл.). Кроме того, по всему Китаю провинциальные и муниципальные власти вкладывают ресурсы в кампанию по привлечению талантов. Одной из таких инициатив является План «Куньпэн» (Kunpeng Plan), осуществляемый властями восточной провинции Чжэцзян, запущенный в 2019 г. и направленный на привлечение 200 технических экспертов в течение пяти лет. По состоянию на июнь 2022 г. 48 из них уже были набраны. Например, одним из привлеченных специалистов в рамках этого плана стал профессор Чжэцзянского университета, получивший образование в Кембридже, специализирующийся на исследованиях полупроводниковых оптоэлектронных устройств. В восточном городе Вэньчжоу инвестиции местных властей в каждого специалиста Плана «Куньпэн» могут достигать 200 млн юаней (28 млн долл.), включая индивидуальное вознаграждение, начальное финансирование и жилье<sup>28</sup>.

В результате реализации китайских правительственных программ по привлечению кадров к 2022 г. топ-менеджмент многих ключевых китайских полупроводниковых компаний был представлен американцами китайского происхождения. В частности, АМЕС (*Advanced Micro-Fabrication Equipment*), второй по величине китайский производитель оборудования, был основан в 2004 г. Джеральдом Инем (Gerald Yin), который до этого работал в США в течение двух десятилетий. Он же и возглавил эту компанию. Кроме того, многие из руководителей высшего звена АМЕС также являются американскими гражданами, прошедшими обучение и имеющими большой опыт работы в США. Генеральный директор и президент

---

28. Zhu J., Potkin F., Baptista E., Martina M. Insight: China quietly recruits overseas chip talent as US tightens curbs // Reuters. Aug 24, 2023. <https://www.reuters.com/technology/china-quietly-recruits-overseas-chip-talent-us-tightens-curbs-2023-08-24/>

ACM Research, третьего по величине китайского производителя оборудования, также является гражданином США<sup>29</sup>.

Несмотря на широкий пул предпочтений и высокий объем финансирования, реализация китайских государственных программ привлечения талантов сдерживается рядом факторов, среди них:

- отсутствие для зарубежных специалистов определенности в перспективах реализации программ, которые могут в любой момент прекратиться либо измениться объем и условия финансирования;
- опасения кандидатов, что участие в китайской государственной программе может лишить их в дальнейшем международных возможностей, таких как продолжить карьеру в США и союзнических странах. В частности, китайские полупроводниковые компании готовы платить тайваньским инженерам на 500% больше их нынешней заработной платы, однако местные чиновники предупреждают, что ни одна тайваньская фирма не возьмет обратно сотрудников после работы в Китае<sup>30</sup>;
- нестабильность международного положения Китая и непредсказуемость введения санкционных ограничений. К примеру, США, в попытке заблокировать приток сотрудников в китайскую полупроводниковую отрасль, с октября 2022 г. ввели запрет своим гражданам и обладателям грин-карт работать в Поднебесной, который затронул сотни этнических китайцев, получивших образование и/или прошедших стажировку в США, прежде чем вернуться в свою страну. Эти люди оказались перед выбором либо уволиться, либо отказаться от американского гражданства<sup>31</sup>.

Тем не менее, программы по привлечению талантов оказались успешными, уже принесли и продолжают приносить резуль-

---

29. *Ting-Fang Ch.* China's 'sea turtle' tech executives stranded by U.S. crackdown // *Nikkei Asia*. Oct 11, 2022. <https://asia.nikkei.com/Business/Tech/Semiconductors/China-s-sea-turtle-tech-executives-stranded-by-U.S.-crackdown>

30. *Allen G. C.* China's New Strategy for Waging the Microchip Tech War. CSIS. May 03, 2023. <https://www.csis.org/analysis/chinas-new-strategy-waging-microchip-tech-war>

31. *McMorrow R., Liu Q., Liu N.* China's YMTC asks core US staff to leave due to chip export controls // *Financial Times*. Oct 24, 2022. <https://www.ft.com/content/97147102-a02c-48df-b3a0-28c77c4c298f>

таты. В то же время китайские компании находят способы обойти санкции и развивать свою деятельность. Например, производитель полупроводникового оборудования АМЕС в октябре 2022 г. был вынужден исключить трех топ-менеджеров с американским гражданством из совета по ключевым технологиям. Публично заявлено, что они больше не будут участвовать в разработке ключевых технологий. Однако высококвалифицированные специалисты не покинули компанию, а продолжили свою работу на других должностях<sup>32</sup>. Это свидетельствует о том, что, несмотря на ограничения и санкции, китайцы способны привлекать и удерживать талантливых специалистов, а также адаптироваться к изменяющимся условиям.

### *Выращивание национальных производителей полупроводникового оборудования*

Доподлинное число китайских производителей полупроводникового оборудования неизвестно из-за относительной закрытости информационного пространства страны. Наверное, только одна местная компания *SMEE* широко узнаваема на мировом рынке за счет включения в санкционный список США и появления в медийном пространстве инсайдерской информации о разработке литографической системы, способной производить чипы по технологии 28-нм. Однако еще в 2008 г. отраслевая ассоциация SEMI определила около 80 китайских разработчиков и производителей полупроводникового оборудования, работающих в рамках широкого спектра технологий (табл. 6).

За пятнадцать лет численность таких компаний выросла примерно в 7,5 раз. В августе 2023 г. на конференции «China Semiconductor Equipment 2023» приняли участие представители более 600 китайских производителей<sup>33</sup>.

Важно отметить, что увеличение численности китайских разработчиков и производителей полупроводникового оборудования

- 
32. *Pan Ch.* Tech war: China chip tool firm AMEC's profit boosted by strong local demand as it reshuffles tech board in wake of US rules // South China Morning Publishers. Aug 25, 2023. <https://www.scmp.com/tech/article/3232334/tech-war-china-chip-tool-firm-amecs-profit-boosted-strong-local-demand-it-reshuffles-tech-board-wake>
33. *Pan Ch.* China's chip-making tool industry unites behind self-sufficiency drive but huge challenges remain // South China Morning Post. Aug 9, 2023. <https://www.scmp.com/tech/article/3230550/chinas-chip-making-tool-industry-unites-behind-self-sufficiency-drive-huge-challenges-remain>

Таблица 6. Китайские производители полупроводникового оборудования в разбивке по продуктовым сегментам

Продуктовый сегмент	Компания
Оборудование для совмещения и экспонирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>SMEE</i> (Shanghai Micro Electronics Equipment)</li> <li>• <i>CETC</i> (China Electronics Technology Group Corporations*)</li> </ul>
Оборудование для проявления и снятия фоторезиста	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>SevenStar</i> (Beijing SevenStar HuaChuang Electronics)</li> <li>• <i>SIAYUAN</i> (Shen Yang SIA YUAN)</li> </ul>
Оборудование для травления	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>AMEC</i> (Advanced Micro-Fabrication Equipment)</li> <li>• <i>NMC</i> (North Microelectronics)</li> <li>• <i>SevenStar</i> (Beijing SevenStar HuaChuang Electronics)</li> <li>• <i>CETC</i> (China Electronics Technology Group Corporations*)</li> </ul>
Оборудование для подготовки поверхности	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>SevenStar</i> (Beijing SevenStar HuaChuang Electronics)</li> <li>• <i>CETC</i> (China Electronics Technology Group Corporations*)</li> <li>• <i>SIAYUAN</i> (Shen Yang SIA YUAN)</li> </ul>
Термическое технологическое оборудование	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>SevenStar</i> (Beijing SevenStar HuaChuang Electronics)</li> <li>• <i>CETC</i> (China Electronics Technology Group Corporations*)</li> </ul>
Оборудование ионной имплантации	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>ZKX</i> (Beijing ZhongKeXin Electronics Equipment)</li> <li>• <i>CETC</i> (China Electronics Technology Group Corporations*)</li> </ul>
Оборудование для нанесения тонких пленок	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>AMEC</i> (Advanced Micro-Fabrication Equipment)</li> <li>• <i>NMC</i> (North Microelectronics)</li> <li>• <i>Hiway</i> (Hiway Systems International)</li> <li>• <i>SKY</i> (SKY Technology Development)</li> </ul>
Оборудование метрологии и контроля	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 стартапа</li> </ul>
Оборудование химико-механической полировки	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>CETC</i> (China Electronics Technology Group Corporations*)</li> <li>• <i>ACM</i> (ACM Research)</li> </ul>
Оборудование для производства полупроводниковых пластин (подложек)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>LZR</i> (LanZhou Rapid Equipment Manufacturing)</li> <li>• <i>XAUT</i> (Xi'an University of Technology Crystal Growing Research Institution)</li> <li>• <i>JYT</i> (Beijing JingYunTong Vacuum Equipment)</li> <li>• <i>JingYi</i> (Beijing JingYi Century Automatic Equipment)</li> </ul>

\* В корпорацию CETC входят различные компании, основанные в научно-исследовательских институтах. Источник: составлено автором по: *Feng L., Tracy D. Domestic Equipment in China Seek Both Semiconductor and Solar Industry Growth. SEMI.* <https://www.semi.org/en/P044326>

достигается благодаря мерам поддержки со стороны китайского правительства. В частности, в течение первых двух лет, начиная с первого года получения прибыли, они освобождаются от уплаты корпоративного подоходного налога, а в последующие два года оплачивают  $\frac{1}{2}$  от установленной 25%-ной ставки<sup>34</sup>.

34. State Council Notice on the Publication of Certain Policies to Promote the High-Quality Development of the Integrated Circuit Industry and the Software Industry in the New Period. PRC State Council. Translation. CSET. [https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/t0195\\_IC\\_software\\_policy\\_EN.pdf](https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/t0195_IC_software_policy_EN.pdf)

### **Наращивание инвестиций в НИОКР китайскими производителями полупроводникового оборудования**

Высококонкурентная среда в глобальном SME-сегменте и чрезвычайно высокий порог входа на рынок для новичков вынудили китайских производителей увеличивать расходы на НИОКР. Согласно данным DigiTimes Asia, представленным в сентябре 2023 г., в течение последних 2,5 лет медианное соотношение инвестиций в НИОКР среди китайских производителей полупроводникового оборудования сохранялось выше 10% от объема выручки<sup>35</sup>. При этом стоит обратить особое внимание на крупнейших игроков китайского SME-сегмента, которые пока значительно отстают по объему выручки в денежном выражении, однако превзошли ведущих мировых вендоров по процентному соотношению затрат на НИОКР.

Так, расходы на исследования и разработки второго по размеру национального производителя оборудования АМЕС (*Advanced Micro-Fabrication Equipment*) составили 728 млн юаней (102 млн долл.), или 23,4% от выручки в 2021 г. и 929 млн юаней (130 млн долл.), или 19,6% в 2022 г.<sup>36</sup> При этом относительный показатель превысил аналогичный показатель пятерки ведущих мировых вендоров в 1,7–2,4 раза в 2021 г. и в 1,3–2,5 раза в 2022 г. (см. табл. 2). Затраты на НИОКР третьего по величине производителя *ACM Research* оказались следующими: в 2019 г. — 12,9 млн долл., или 12,0% от выручки; в 2020 г. — 19,1 млн долл., или 12,2%; в 2021 г. — 34,2 млн долл., или 13,4%; в 2022 г. 62,2 млн долл., или 16,0%<sup>37</sup>. Благодаря значительному наращиванию инвестиций китайский производитель в 2022 г. обошел всех ведущих мировых вендоров по процентному соотношению затрат на НИОКР.

- 
35. Tsai J., Hsiao J. China doubles localization rate for chipmaking equipment, reportedly over 40% // DigiTimes. Sep 22, 2023. <https://www.digitimes.com/news/a20230922PD200/china-ic-manufacturing-equipment.html>
  36. 2021 Environmental, Social and Governance Report. AMEC. <https://www.amec-inc.com/uploads/files/20221128/16696223786978.pdf>; 2022 Environmental, Social and Governance Report. AMEC. <https://www.amec-inc.com/uploads/files/20230725/16902657763468.pdf>
  37. 2021 Annual Report. ACM Research. [https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/a/NASDAQ\\_ACMR\\_2021.pdf](https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/a/NASDAQ_ACMR_2021.pdf); Fourth Quarter 2022 Results. ACM Research. <https://ir.acmrcsh.com/static-files/2ee60f45-ce0f-490c-a58b-76f917cf2745>

Представленные данные свидетельствуют о росте и развитии китайского СМЕ-сектора, который активно вкладывает средства в исследования и разработки для повышения конкурентоспособности на полупроводниковом рынке.

### *Накапливание стратегических запасов импортного полупроводникового оборудования*

Ранее уже отмечалось, что Китай в последние три года (2020–2022 гг.) являлся крупнейшим импортером полупроводникового оборудования в мире. Однако этого объема оказалось недостаточно, чтобы обеспечить реализацию планов страны в будущем. Масштабировать поставки возможности не было, т.к. в тот же период на глобальном рынке резко вырос спрос на полупроводниковое оборудование (как ответ рынка на возникший в конце 2020 г. дефицит чипов), который поставщики оказались не в состоянии удовлетворить. Время ожидания поставок новой продукции увеличилось с трех-четырёх месяцев в 2019 г. до более десяти, а по некоторым позициям до тридцати месяцев в 2021 г.<sup>38</sup> Из-за возникшей ситуации стал наблюдаться значительный спрос на вторичном рынке оборудования, в первую очередь в японском секторе. Машины, выпущенные 20–30 лет назад, теперь продавались по ценам, сравнимым с ценами на новое оборудование, только потому что они просто были в наличии. Порядка 90% подержанного оборудования отправлялось в Китай. При этом отмечается, что китайские клиенты массово покупали оборудование, даже если не планировали использовать сразу, т.е. аккумулялировали его про запас внутри страны<sup>39</sup>. Таким образом, в преддверии ужесточения санкций китайцы импортировали практически все полупроводниковое оборудование из США, Европы и Японии, которое только смогли достать. Следует подчеркнуть, что данная инициатива реализовывалась при поддерж-

38. *Ting-Fang Ch., Li L.* Chip industry's expansion plans at risk as equipment delays grow // Nikkei Asia. Apr 7, 2022. <https://asia.nikkei.com/Business/Tech/Semiconductors/Chip-industry-s-expansion-plans-at-risk-as-equipment-delays-grow>

39. *Hiroi Y.* China hoards used chipmaking to resist US pressure // Nikkei Asia. Feb 28, 2021. <https://asia.nikkei.com/Business/Electronics/China-hoards-used-chipmaking-machines-to-resist-US-pressure>; *Matsumoto M., Eguchi R.* Red-hot Chinese chip investment fuels boom in used equipment // Nikkei Asia. Apr 20, 2022. <https://asia.nikkei.com/Business/Tech/Semiconductors/Red-hot-Chinese-chip-investment-fuels-boom-in-used-equipment>

ке китайского правительства. К примеру, на определенный период времени национальные производители чипов освобождались от пошлин на оборудование, импортируемое для собственного использования<sup>40</sup>.

Реализованная стратегия накопления стратегических запасов импортного полупроводникового оборудования позволяет:

- предотвратить коллапс в сегменте контрактного производства (Fabrication-сегменте) после введения ограничений на поставки оборудования, который по «принципу домино» обрушил бы и другие сегменты национальной цепочки создания стоимости полупроводников;
- создать резерв для обеспечения расширения локального производства (Fabrication-сегмента) в качестве временной меры, пока не будет налажен выпуск отечественного оборудования;
- собрать широкий спектр иностранных технологий для последующего реинжиниринга;
- использовать в качестве промышленного образца для усовершенствования технологических и эксплуатационных характеристик отечественного оборудования.

### *Импортозамещение полупроводникового оборудования и компонентов для его производства*

Китайский SME-сегмент в настоящее время сталкивается с целым рядом проблем, в связи с чем осуществление импортозамещения полупроводникового оборудования в краткосрочной перспективе остается сложной задачей. В первую очередь отмечается его фрагментированный характер, из-за которого пока нет возможности удовлетворить основные потребности контрактных производителей чипов<sup>41</sup>. Также имеется сильная зависимость производителей от импортных компонентов для ключевого полупроводникового

---

40. State Council Notice on the Publication of Certain Policies to Promote the High-Quality Development of the Integrated Circuit Industry and the Software Industry in the New Period. PRC State Council. Translation. CSET. [https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/t0195\\_IC\\_software\\_policy\\_EN.pdf](https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/t0195_IC_software_policy_EN.pdf)

41. Liang A. Top Chinese equipment supplier: China is 5 gen behind in chip manufacturing due to US sanctions // DigiTimes. Aug 15, 2023. <https://www.digitimes.com/news/a20230815PD210/amec-china.html>

оборудования, причем даже зрелые техпроцессы не полностью свободны от санкций США<sup>42</sup>. Однако, по оценке одного из участников национального рынка, процесс импортозамещения, продолжающийся около четырех лет, шел гораздо быстрее, чем ожидалось<sup>43</sup>.

В частности, в последние годы Китай активно подключился к исследованиям в области литографии (критической технологии в сфере полупроводников), чтобы снизить свою зависимость от иностранного оборудования. Инсайдерская информация о создании *SMEE (Shanghai Micro Electronics Equipment)* литографической системы для производства полупроводниковой продукции по 28-нм топологическим нормам появилась в СМИ в конце 2020 г., с тех пор китайская компания ни подтверждала, ни опровергала эту информацию. Однако в августе 2023 г. был анонсирован выпуск первой литографической системы 28-нм до конца текущего года, что станет большим прорывом как для самой компании (производящей в настоящее время машины для выпуска чипов 90-нм и более), позволяющим перепрыгнуть сразу через несколько поколений технологий, так и для национальной индустрии<sup>44</sup>. Кроме того, рыночные ожидания в отношении использования в литографах отечественных компонентов привели к росту акций китайских производителей оптики, таких как *Mloptic* – на 15%, *Kingsemi* и *Castech* – на 5%<sup>45</sup>. Китайская телекоммуникационная компания *Huawei*, в сферу деятельности которой с 2003 г. входит выпуск потребительской электроники (смартфонов, планшетов и др.), после внесения в 2019 г. в «черный список» США лишилась доступа к иностранным технологиям, компонентам, оборудованию и передовым фабрикам по выпуску чипов, что сильно подорвало бизнес компа-

- 
42. *Pan Ch.* China's chip-making tool industry unites behind self-sufficiency drive but huge challenges remain // South China Morning Post. Aug 9, 2023. <https://www.scmp.com/tech/article/3230550/chinas-chip-making-tool-industry-unites-behind-self-sufficiency-drive-huge-challenges-remain>
43. Chinese firm expected to deliver 28nm chip machine at year-end: media report // Global Times. Aug. 1, 2023. <https://www.globaltimes.cn/page/202308/1295484.shtml>
44. *Shilov A.* Chinese Firm's 'Breakthrough' 28nm Chipmaking Tool to Debut Soon: Report // Tom's Hardware. Aug 02, 2023. <https://www.tomshardware.com/news/chinese-lithography-firm-to-debut-28nm-capable-scanner-report>
45. China Chip Firms Soar on Report of Advance in Fabrication Tech // Bloomberg. Aug 02, 2023. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-08-02/china-chip-firms-surge-on-report-of-technology-breakthrough?srnd=technology-vp>

нии. По сообщению агентства Bloomberg, с 2022 г. технологический гигант занялся организацией собственного производства полупроводников и сейчас создает по всей стране «секретную сеть» предприятий при финансовой поддержке китайского правительства в объеме 30 млрд долл.<sup>46</sup> В ноябре 2022 г. *Huawei* подала патентную заявку на EUV-литограф. Если компании удастся создать такое оборудование, добиться приемлемых производительности и времени бесперебойной работы, то китайцы смогут производить чипы по технологии 7-нм и менее. Стоит отметить, что EUV-литограф (с числовой апертурой 0,33) считается наивысшим инженерным достижением в SME-сегменте, на сегодняшний день довести такой инструмент до коммерческого использования удалось только одной компании в мире – голландской *ASML*<sup>47</sup>. Ограниченный доступ к EUV-литографу стал основным препятствием для Китая на пути развития полупроводниковой отрасли. В стране на этапе НИОКР предпринимаются серьезные усилия по разработке ключевого набора технологий, критически важных для EUV-литографии, однако, по оценкам специалистов, потребуется не менее четырех-пяти лет, чтобы приблизить систему к приемлемому уровню коммерческого использования, базирующуюся на полностью локализованных компонентах<sup>48</sup>.

Для демонстрации прогресса в импортозамещении оборудования и комплектующих для его производства можно привести следующие примеры. В июле 2023 г. стало известно, что *HGLASER (Wuhan Huagong Laser Engineering)* выпустила первое китайское высокоточное оборудование для лазерной резки пластин, которое определяет производительность и стоимость чипов, что стало ключевым технологическим прорывом компании. Отмечается, что обо-

---

46. King Ia., Wu D. Huawei Building Secret Network for Chips, Trade Group Warns // Bloomberg. Aug 23, 2023. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-08-23/huawei-building-secret-chip-plants-in-china-to-bypass-us-sanctions-group-warns?srnd=technology-vp>

47. Shilov A. Huawei EUV Scanner Patent Suggests Sub-7nm Chips for China // Tom's Hardware. Dec 23, 2022. <https://www.tomshardware.com/news/huawe-euv-scanner>

48. Pan Ch., Deng I. For Chinese chip-making, lack of advanced lithography systems becomes a focal point in wake of Huawei's breakthrough // South China Morning Post. Oct 03, 2023. [https://www.scmp.com/tech/tech-war/article/3236528/chinese-chip-making-lack-advanced-lithography-systems-becomes-focal-point-wake-huaweis-breakthrough?campaign=3236528&module=perpetual\\_scroll\\_0&pgtype=article](https://www.scmp.com/tech/tech-war/article/3236528/chinese-chip-making-lack-advanced-lithography-systems-becomes-focal-point-wake-huaweis-breakthrough?campaign=3236528&module=perpetual_scroll_0&pgtype=article)

рудование соответствует высочайшим стандартам качества, а также выполнено из полностью локализованных основных компонентов<sup>49</sup>. Производитель оборудования для травления кремниевых пластин АМЕС (*Advanced Micro-Fabrication Equipment*) сообщает, что хотя сейчас и испытывает определенные сложности с закупками комплектующих, однако ожидает, что порядка 80% компонентов может быть замещено до конца 2023 г., а 100%-ное замещение удастся обеспечить ко второй половине 2024 г.<sup>50</sup>

«Глобальные политические разногласия, вероятно, ознаменуют наступление золотого века в секторе оборудования для производства полупроводников в Китае», — высказал свое видение перспектив генеральный директор *ACM Research*<sup>51</sup>. Китайские поставщики полупроводникового оборудования в последние годы смогли увеличить как выручку, так и валовую прибыль. Данные *JW Insights* показывают, что общая выручка 16 котирующихся на бирже китайских производителей полупроводникового оборудования увеличилась с 4,1 млрд юаней (575 млн долл.) в 2017 г. до 33,5 млрд юаней (4,70 млрд долл.) в 2022 г., при этом средний совокупный темп роста составил 52%<sup>52</sup>. Выручка крупнейшего поставщика *Naura* (*Naura Technology Group*) в 2022 г. составила 14,6 млрд юаней (2,05 млрд долл.), превысив более чем в шесть раз показатель 2017 г. Для масштабирования своей деятельности компания инвестировала 3,8 млрд юаней (533 млн долл.) в строительство нового завода в Пекине, который должен начать работу в 2024 г. Второй по величине производитель АМЕС в 2022 г. увеличил свои продажи примерно в пять раз по сравнению с 2017 г. Также компанией ведется строительство завода в Шанхае стоимостью 1,5 млрд юаней (210 млн долл.)<sup>53</sup>.

49. Yi W. China's breakthrough in semiconductor equipment shows US tech blockade is ineffective // *Global Times*. Jul 14, 2023. <https://www.globaltimes.cn/page/202307/1294391.shtml>

50. *Pan Cb*. Tech war: China chip tool firm AMEC's profit boosted by strong local demand as it reshuffles tech board in wake of US rules // *South China Morning Publishers*. Aug 25, 2023. <https://www.scmp.com/tech/article/3232334/tech-war-china-chip-tool-firm-amecs-profit-boosted-strong-local-demand-it-reshuffles-tech-board-wake>

51. *Tabeta Sb*. China pumps \$7bn into upgrading chip supply chain // *Nikkei Asia*. Apr 22, 2023. <https://asia.nikkei.com/Business/Tech/Semiconductors/China-pumps-7bn-into-upgrading-chip-supply-chain>

52. Li P. *JW Insights*: Chinese semiconductor equipment and component suppliers will benefit from more domestic substitution trend // *IjiWei.com*. Jun 07, 2023. <https://jw.ijiwei.com/n/864558>

53. *Tabeta Sb*. China pumps \$7bn into upgrading chip supply chain // *Nikkei Asia*. Apr 22, 2023. <https://asia.nikkei.com/Business/Tech/Semiconductors/China-pumps-7bn-into-upgrading-chip-supply-chain>

По данным CINNO Research, в первом полугодии 2023 г. выручка 10 крупнейших китайских производителей полупроводникового оборудования составила около 16,2 млрд юаней (2,23 млрд долл.), что на 39% больше по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. Лидирующая тройка производителей продемонстрировала следующие результаты: выручка *Naura* составила более 7 млрд юаней (964 млн долл.), увеличившись на 68% в годовом исчислении; выручка *AMEC* — 2,53 млрд юаней (349 млн долл.), увеличившись на 28%; выручка *ACM Research* — 1,61 млрд юаней (222 млн долл.), увеличившись на 47%<sup>54</sup>.

### ***Консолидация усилий китайских участников полупроводниковой отрасли для повышения уровня локализации***

Ранее китайские промышленники сталкивались со множеством препятствий при попытках проникнуть на монополизированный глобальными поставщиками полупроводникового оборудования рынок. Национальные компании не желали отказываться от проверенного сотрудничества с иностранными контрагентами в пользу отечественных производителей в связи с тем, что такой переход требует значительных затрат на перестройку технологических процессов и переналадку оборудования, а взамен зачастую приводит к ухудшению качества производимой продукции и росту себестоимости. В итоге образовывался замкнутый круг — контрактные производители чипов (фабрики) избегали использования отечественного оборудования, а производители оборудования не покупали комплектующие у местных поставщиков. Однако, столкнувшись с реальной угрозой в виде внешних санкций, все полупроводниковое сообщество объединило свои усилия, чтобы укрепить сотрудничество. В связи с тем, что большинство игроков рынка пересмотрело свои позиции и стало более предрасположено к внедрению отечественной продукции, в отрасли сформировался благоприятный цикл. Китайские производители оборудования и компонентов активизировались, чтобы заполнить образовав-

---

54. *Kharpal A.* China's chip equipment firms see revenue surge as Beijing seeks semiconductor self-reliance // CNBC. Sep 28, 2023. <https://www.cnbc.com/2023/09/28/chinas-chip-firms-see-revenue-surge-as-beijing-seeks-self-reliance.html>

шиеся пробелы в цепочке создания стоимости полупроводников, в свою очередь, контрактные производители стали стремиться использовать местных поставщиков, чтобы обеспечить безопасность цепочки, несмотря на возможные проблемы с ценой и качеством<sup>55</sup>. Например, конечные потребители для снижения рыночных рисков стали предпочитать использовать отечественный чип, скажем, за 200 юаней, в то время как импортный аналог обходится в 20 юаней. Такая тенденция со временем приведет к увеличению спроса, снижению цены и улучшению характеристик отечественных полупроводников, что даст обратную связь по всей национальной цепочке создания стоимости. Помимо этого, ключевые компании отрасли возглавят процесс импортозамещения оборудования на китайском рынке и будут оказывать технологическую поддержку своим клиентам<sup>56</sup>.

Отчет за 2021 г. показал, что китайские производители чипов закупают у местных поставщиков менее 20% своего оборудования в стоимостном выражении и что в стране локализовано менее 8% годового спроса на него<sup>57</sup>. В 2022 г. около 35% китайских фабрик по производству полупроводников использовали отечественное оборудование, тогда как в 2021 г. только 21%<sup>58</sup>. В первые четыре месяца 2023 г. одиннадцать основных китайских фабрик, включая YMTС (*Yangtze Memory Technologies Co.*) и HLMС (*Shanghai Huali Microelectronics Corporation*), объявили тендеры на поставку в общей сложности 100 единиц оборудования, из них 42 выиграла китайские производители<sup>59</sup>.

- 
55. *Pan Ch.* China's chip-making tool industry unites behind self-sufficiency drive but huge challenges remain // South China Morning Post. Aug 9, 2023. <https://www.scmp.com/tech/article/3230550/chinas-chip-making-tool-industry-unites-behind-self-sufficiency-drive-huge-challenges-remain>
  56. Chinese firm expected to deliver 28nm chip machine at year-end: media report // Global Times. Aug 1, 2023. <https://www.globaltimes.cn/page/202308/1295484.shtml>
  57. *Mak R.* China's chip suppliers have some growing up to do // Reuters. Dec 14, 2022. <https://www.reuters.com/breakingviews/chinas-chip-suppliers-have-some-growing-up-do-2022-12-14/>
  58. *Tabeta Sb.* China pumps \$7bn into upgrading chip supply chain // Nikkei Asia. Apr 22, 2023. <https://asia.nikkei.com/Business/Tech/Semiconductors/China-pumps-7bn-into-upgrading-chip-supply-chain>
  59. *Li P.* JW Insights: Chinese semiconductor equipment and component suppliers will benefit from more domestic substitution trend // IJiWei.com. Jun 07, 2023. <https://jw.ijiwei.com/n/864558>

### ***Коллаборация китайских производителей оборудования и фабрик по выпуску чипов***

Эксперты американского исследовательского Центра безопасности и новейших технологий (CSET) выделили установление тесного сотрудничества между производителями оборудования и фабриками по производству чипов в качестве одного из потенциальных «ускорителей» для сокращения отставания Китая в SМE-сегменте. Связано это с тем, что доработка оборудования до достижения высокой производительности и выпуска чипов с низкой дефектностью — это длительный процесс, занимающий годы, требующий тщательного тестирования и обратной связи от фабрик. Однако китайским производителям оборудования сложно было найти покупателей, готовых сотрудничать с ними во время этого процесса, пока в доступе было импортное оборудование от проверенных поставщиков<sup>60</sup>.

После введения санкций ситуация изменилась. Китайцы не только смогли наладить кооперацию между производителями оборудования и фабриками, но и придумали способ как ускорить процесс доработки оборудования. Китайские фабрики стали организовывать свои производственные процессы таким образом, чтобы один и тот же коллектив сотрудников работал параллельно на двух системах, китайской и импортной, выпускающих однотипную продукцию, а затем давал разработчикам обратную связь, основанную на их опыте. В свою очередь, национальные производители оборудования стали использовать эту информацию для совершенствования своих разработок<sup>61</sup>.

### ***Промышленный шпионаж и переманивание сотрудников у конкурентов***

Промышленный шпионаж был частью полупроводниковой промышленности практически с момента ее зарождения. Однако в последние десятилетия некоторые участники отрасли высказывали скептицизм в отношении эффективности такого инструмента,

---

60. Hunt W., Khan S. M., Peterson D. China's Progress in Semiconductor Manufacturing Equipment. Accelerants and Policy Implications. CSET. March 2021. <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/CSET-Chinas-Progress-in-Semiconductor-Manufacturing-Equipment.pdf>

61. Allen G. C. China's New Strategy for Waging the Microchip Tech War. CSIS. May 03, 2023. <https://www.csis.org/analysis/chinas-new-strategy-waging-microchip-tech-war>

учитывая значимость неформальных знаний между компаниями и их высококвалифицированными сотрудниками, которые сложнее украсть или передать. Могут пройти десятилетия, прежде чем удастся воспроизвести технологию<sup>62</sup>. Тем не менее, необходимо признать, что со временем появились новые формы промышленного шпионажа, особенно в сфере кибербезопасности и цифровых технологий, и вопрос о его эффективности снова актуализировался. Более того, изменились и подходы к переманиванию высококвалифицированных сотрудников, обладающих ценной информацией. Теперь от них не требуется релокации в другую страну или даже континент. Новой тенденцией стало создание или приобретение предприятий в стране нахождения конкурента.

Бывший инженер ASML по имени Цзунчан Юй (Zongchang Yu) в 2014 г. учредил две компании – *Xtal* в Кремниевой долине США и *Dongfang (Dongfang Jinguuan Electron)* в Китае, после чего у голландского производителя оборудования началась утечка сотрудников и, предположительно, данных. В 2018 г. ASML, контролирующей более 90% мирового рынка литографического оборудования, инициировал судебный процесс в отношении двух бывших сотрудников, перешедших в последствии на работу в *Xtal*, обвиняемых в незаконном присвоении коммерческой информации и передаче ее новому работодателю. В центре судебного разбирательства находилось критически важное программное обеспечение коррекции оптической близости (optical proximity correction – OPC), без которого литографические машины не способны обеспечить высокоточной печати чипов, иными словами, чипы будут нерабочими. Потенциальное освоение китайцами программного обеспечения OPC позволяет в ускоренном режиме совершить технологический скачок в сегменте литографического оборудования. Согласно материалам дела, за два года *Xtal* воспроизвела технологию, на разработку которой ASML потратила 100 млн долл. и 10 лет работы. Более того, в 2016 г. компания из Кремниевой долины выиграла контракт на 27 млн долл. с южнокорейской полупроводниковой компанией *Samsung Electronics*, давним клиентом голландского производителя, на поставку программного обеспечения OPC. По итогам судебного

---

62. Там же.

разбирательства два бывших сотрудника *ASML* отделались символическим наказанием — нахождение под электронным наблюдением и общественные работы в течение нескольких месяцев. *Xtal* проиграла дело в суде, однако подала заявление о банкротстве, в связи с чем присужденная ей выплата в размере 845 млн долл. была признана *ASML* безнадежной к взысканию. На учредителя *Xtal* в США был выдан ордер на арест за организацию кражи интеллектуальной собственности, однако он успел заблаговременно покинуть страну. В настоящее время Цзунчан Юй успешно руководит второй своей компанией *Dongfang* в Пекине, которая неоднократно удостоивалась почестей и наград со стороны китайского правительства за достижения в развитии национальной полупроводниковой отрасли<sup>63</sup>.

Еще один эпизод получил огласку в 2022 г., когда ведущий американский производитель полупроводникового оборудования *Applied Materials* подал в суд на компанию *Mattson*, базирующуюся в США, владельцем которой с 2016 г. является Пекинский инвестиционный центр полупроводниковой промышленности E-Town Dragon (Beijing E-Town Dragon Semiconductor Industry Investment Center), за попытку украсть некоторые из его наиболее ценных секретов. Суть обвинений состоит в том, что компания *Mattson* чуть более чем за год переманила 17 ведущих инженеров, работавших на американского производителя в течение многих лет и имевших доступ к конфиденциальной информации, обладание которой даст китайцам годы конкурентного преимущества в их технологическом развитии. В свою очередь *Mattson* предъявленные претензии отвергает, а судебное разбирательство продолжается<sup>64</sup>.

Необходимо подчеркнуть, что далеко не все инциденты такого рода становятся достоянием общественности в связи с тем, что, во-первых, Китай является крупнейшим рынком сбыта полупроводникового оборудования, во-вторых, огласка, связанная с утечкой коммерческой информации, может негативно сказаться на

---

63. Robertson J., Riley M. Engineer Who Fleed Charges of Stealing Chip Secrets Now Thrives in China (Repeat) // Bloomberg. Jun 06, 2022. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-06-06/engineer-who-fled-us-charges-of-stealing-chip-technology-now-thrives-in-china>

64. Wu D. Top US Chip Gearmaker Accuses China Rival of 14-Month Spy Spree // Bloomberg. Jun 15, 2023. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-06-15/applied-materials-accuses-china-owned-rival-of-14-month-spy-spree?srnd=technology-vp>

деятельности и репутации производителей оборудования. Важно отметить, что Китай официально отрицает какую бы то ни было взаимосвязь своих технологических достижений и несанкционированного использования чужой интеллектуальной собственности. Напротив – высказывает встречные обвинения США, такие как регулярные взломы серверов *Huawei* и масштабные кампании кибершпионажа в отношении Китая и России<sup>65</sup>.

***Активизация приоритета китайских компаний на права интеллектуальной собственности над иностранцами***

Интеллектуальная собственность является ключевым фактором конкурентоспособности компаний и стран и, соответственно, находится в центре международных споров.

В *The Wall Street Journal* в феврале 2023 г. вышла статья, посвященная стремлению Китая развивать передовые технологии посредством мобилизации своей правовой системы для перехвата технологий у других стран. В исследовании приводятся многочисленные примеры предвзятого отношения китайской судебной системы и патентного ведомства к иностранцам, особенно в спорах, связанных со стратегическими секторами или компаниями. Это отражается как в признании недействительными иностранных патентов в юрисдикции Китая, так и в отказах иностранным компаниям признавать недействительными права на интеллектуальную собственность китайских компаний, а также в более низкой доле выигранных дел иностранными компаниями против местных<sup>66</sup>. В то же время Марк А. Коэн, директор Азиатского проекта интеллектуальной собственности в Центре права и технологий Беркли при Калифорнийском университете, полагает, что данные и истории из приведенной выше статьи не подкрепляют убедительными аргументами утверждение о мобилизации правовой системы Поднебесной. Хотя это не отрица-

---

65. *Ting-Fang Ch., Zhou C.* China accuses U.S. of hacking Huawei servers since 2009 // *Nikkei Asia*. Sep 20, 2023. <https://asia.nikkei.com/Spotlight/Huawei-crackdown/China-accuses-U.S.-of-hacking-Huawei-servers-since-2009>

66. *Woo S., Michaels D.* China's Newest Weapon to Nab Western Technology – Its Courts // *The Wall Street Journal*. Feb 20, 2023. <https://www.wsj.com/articles/u-s-china-technology-disputes-intellectual-property-europe-e749a72e>

ет в китайской системе интеллектуальной собственности существование определенной предвзятости, а использование судебной системы для продвижения промышленной политики вовсе не является чем-то новым, как предполагает статья<sup>67</sup>.

Сложно сказать, является ли мобилизация правовой системы новой стратегией Китая или продолжающейся тенденцией. Однако определенную предвзятость можно увидеть в продолжении примера, который мы начали рассматривать выше в подразделе «Промышленный шпионаж». Так, в 2019 г. китайские власти выдали *Dongfang* патент с широким объемом правовой охраны, включающий программное обеспечение ОРС, несмотря на то что в американском судебном процессе было доказано хищение двух миллионов строк программного кода у голландского производителя *ASML*, а также предоставление к нему доступа инженерам *Xtal* и *Dongfang*<sup>68</sup>.

### *Выводы по второй главе*

Переломным моментом в формировании промышленной политики Китая стала первая волна санкций, побудившая руководство страны рассматривать полупроводниковую индустрию не только с точки зрения экономики, но и национальной безопасности. Китайское правительство смогло оперативно спрогнозировать последующие шаги, направленные на ограничение развития национальной полупроводниковой отрасли, и принять масштабные превентивные меры. В этой связи изменения произошли и в поведении китайских компаний на глобальном и внутреннем рынках. Несмотря на то что вторая волна санкций носила более системный характер, китайская полупроводниковая промышленность смогла не только выстоять под ее натиском, но и ускорить свое развитие благодаря скоординированным действиями правительства и экономических агентов.

---

67. *Cohen M.* Are Chinese Courts Out to “Nab” Western Technology: An Inconclusive WSJ Article // China IPR. Feb 24, 2023. <https://chinaipr.com/2023/02/24/are-chinese-courts-out-to-nab-western-technology-an-inconclusive-wsj-article/>

68. *Robertson J., Riley M.* Engineer Who Fleed Charges of Stealing Chip Secrets Now Thrives in China (Repeat) // Bloomberg. Jun 06, 2022. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-06-06/engineer-who-fled-us-charges-of-stealing-chip-technology-now-thrives-in-china>

Проведенное исследование китайского SМЕ-сегмента показало, что опасения западных экспертов относительно возможного прогресса Китая в освоении передовых технологий и развитии полупроводниковой индустрии в результате эскалации «Войны за чипы» начали сбываться. На фоне ограничительных мер США и их союзников к осени 2023 г. самообеспеченность Китая полупроводниковым оборудованием превысила 40%, удвоившись за два года, при этом уровень локализации в некоторых продуктовых сегментах превысил 50%<sup>69</sup>.

В отчете американских исследователей посвященном анализу китайского SМЕ-сегмента, признается, что хотя восточной стране и будет довольно сложно догнать технологии мирового уровня, однако при ресурсных возможностях и политической воле это не является невозможным<sup>70</sup>.

Китайские производители полупроводникового оборудования обладают уникальными преимуществами<sup>71</sup>:

- *им не нужно заниматься инновациями de novo*. Национальным компаниям не нужно исследовать весь спектр возможных технологий, поскольку правильный путь решения уже найден иностранными фирмами. Они могут сосредоточить ресурсы на НИОКР в единственном направлении, которое, как они знают, может дать результат;
- *они пользуются значительной государственной финансовой поддержкой*. Китайское оборудование может быть конкурентоспособным по цене, даже если оно неконкурентоспособно по производительности и надежности;
- *Китай обладает гигантским рынком и полноценной промышленной системой*, что способствует массовому применению и быстрому внедрению новых технологий.

---

69. Tsai J., Hsiao J. China doubles localization rate for chipmaking equipment, reportedly over 40% // DigiTimes. Sep 22, 2023. <https://www.digitimes.com/news/a20230922PD200/china-ic-manufacturing-equipment.html>

70. Hunt W., Khan S.M., Peterson D. China's Progress in Semiconductor Manufacturing Equipment. Accelerants and Policy Implications. CSET Policy Brief. CSET. March 2021. <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/CSET-Chinas-Progress-in-Semiconductor-Manufacturing-Equipment.pdf>

71. Allen G. C. China's New Strategy for Waging the Microchip Tech War. CSIS. May 03, 2023. <https://www.csis.org/analysis/chinas-new-strategy-waging-microchip-tech-war>

Китай стремительно продвигается к достижению самообеспеченности в SME-сегменте. По прогнозам, национальный рынок полупроводникового оборудования к 2025 г. удвоится до 60 млрд юаней (8,4 млрд долл.) по сравнению с 30 млрд юаней (4,2 млрд долл.) в 2022 г. Негласная цель Китая, по некоторым данным, состоит в достижении 70%-ной локализации в SME-сегменте<sup>72</sup>.

Важно отметить, что, несмотря на сложившуюся ситуацию, участники рынка признают, что производство чипов — это не то, что одна страна может сделать в одиночку, поэтому Китаю следует стремиться к сотрудничеству с теми, кто поддерживает глобализацию<sup>73</sup>.

---

72. *Pan Cb.* China's chip-making tool industry unites behind self-sufficiency drive but huge challenges remain // South China Morning Post. Aug 9, 2023. <https://www.scmp.com/tech/article/3230550/chinas-chip-making-tool-industry-unites-behind-self-sufficiency-drive-huge-challenges-remain>

73. Chinese firm expected to deliver 28nm chip machine at year-end: media report // Global Times. Aug 01, 2023. <https://www.globaltimes.cn/page/202308/1295484.shtml>



## КУРС НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ: РОССИЯ

### 1. Глобальная технологическая блокада полупроводниковой промышленности России

Россия, в отличие от Китая, имеет низкую степень вовлеченности в глобальную кооперацию, в связи с чем в отношении нашей страны был применен иной подход при выработке санкционной политики.

В данном случае также можно условно выделить две волны ограничений, затронувших сферу российской полупроводниковой промышленности (табл. 7).

Таблица 7. Наиболее чувствительные санкционные ограничения в отношении России

Год	Страна / компания	Ограничения	Последствия ограничений
<b>Первая волна санкций</b>			
2012	США	Введены санкции против 42 отечественных компаний (дистрибьютеров электронных компонентов и радиоэлектроники, производителя печатных плат и др.), а также 46 иностранных контрагентов (физических и юридических лиц), сотрудничавших с Россией	Российским производителям электроники ограничен доступ к полупроводникам
2016	США	Расширен американский «черный список». Под запрет на экспорт технологий попали 11 крупных российских производителей микроэлектроники, таких как зеленоградские <i>Микрон</i> , <i>Ангстрем</i> , <i>Ангстрем-Т</i> , <i>Ангстрем-М</i> , московское <i>Внешнеэкономическое объединение Радиоэкспорт</i> , а также производитель телекоммуникационного и СВЧ-оборудования томский <i>Микран</i>	Имущество компаний на территории США, попавших в «черный список», подлежит замораживанию. Поставки технологий этим компаниям будут ограничены

Окончание табл. 7

Год	Страна / компания	Ограничения	Последствия ограничений
<b>Вторая волна санкций</b>			
2022	США, ЕС, Австралия, Канада, Япония, Новая Зеландия, Великобритания и др.	Ограничение экспорта широкого круга высокотехнологичных товаров, в т.ч. электроники и компьютеров ( <i>как американского производства, так и произведенного в других странах с использованием американских технологий, программного обеспечения и оборудования</i> )	Практически полностью заблокирован доступ к микроэлектронике, электронике, полупроводниковому оборудованию
2022	Япония	Запрещен экспорт полупроводников, компьютеров, и высокотехнологичного оборудования, в т.ч. для проведения квантовых вычислений	Под ограничение попало полупроводниковое оборудование ведущего вендора <i>Tokyo Electron</i> , а также двух из трех производителей литографического оборудования в мире <i>Canon</i> и <i>Nikon</i>
2022	Нидерланды	Запрещены поставки полупроводникового литографического оборудования	Под ограничение попало литографическое оборудование компании <i>ASML</i> (одного из трех производителей литографического оборудования в мире)
2022	Тайвань	Присоединился к международным санкциям. Запрещен экспорт высокотехнологичных товаров, в т.ч. телекоммуникационного оборудования, частей интегральных схем. Помимо этого, запрещается поставка полупроводникового литографического оборудования	Наиболее сильный удар по российской промышленности нанес контрактный производитель <i>TSMC</i> , который прекратил выпускать полупроводники для отечественных дизайн-центров, а также приостановил производство отечественных процессоров «Эльбрус» и «Байкал»
2023, октябрь	США	Усилены меры контроля за экспортом, реэкспортом и передачей внутри страны передовых вычислительных устройств, оборудования для производства полупроводников и связанного с ним программного обеспечения и технологий	Усложнен доступ к микроэлектронике, электронике, полупроводниковому оборудованию, а также расширен перечень запрещенных позиций

Источник: составлено автором.

Первая волна санкций, реализуемых до 2022 г., хотя и носила точечный характер, оказала существенное негативное влияние на российскую индустрию. Основной удар пришелся на производи-

телей полупроводников, которым заблокировали потенциал масштабирования деятельности и внедрения новых технологических процессов. Однако, в отличие от Китая, наша страна не реализовала превентивных мер, чтобы укрепить устойчивость национальной отрасли в случае усиления санкционных ограничений.

Вторая волна санкций, проведенная в 2022–2023 гг., носила уже системный характер. Введенные ограничения затронули все сегменты национальной цепочки создания стоимости полупроводников. Власти США, ЕС и ряда недружественных стран ввели несколько пакетов экономических санкций, расширяя их область применения на различные виды деятельности, организации и физических лиц, подпадающих под те или иные ограничения. Кроме того, глобальные корпорации взяли на себя добровольные обязательства, связанные с прекращением взаимодействия с отечественными компаниями или приостановкой своей деятельности в России<sup>74</sup>.

В 2022 г. большинство значимых игроков глобального рынка ввели полный запрет либо существенные ограничения на экспорт полупроводников, технологий и оборудования для их производства в Россию. Для нашей страны это стало настоящим ударом. Отечественная электронная промышленность оказалась не подготовленной к такому развитию событий<sup>75</sup>. В частности, Нидерланды и Япония ввели полный запрет на экспорт полупроводниковых литографических систем (критической технологии) в Россию. Однако проблемы с поставками оборудования для отечественной микроэлектроники возникли значительно раньше – уже в 2010 г. появились серьезные ограничения, хотя и до этого можно было приобрести только устаревшее оборудование, отстающее на два-три поколения от современных технологий. Наша страна оказалась в очень трудном положении, поскольку такое оборудование никогда не производилось в России. Даже во времена СССР его выпускали на территории Белоруссии<sup>76</sup>. Согласно оценкам экспертов, в России

74. Экономика России в условиях новых вызовов: от адаптации к развитию: Доклад / Отв. ред. М.Ю. Головин, Е.Б. Ленчук. М.: ИЭ РАН, 2023.

75. Ильина С.А. Электронная промышленность в условиях санкций: Россия и Китай – партнеры или конкуренты? // Научные исследования и разработки. Экономика. 2022. Т. 10. № 5. С. 48–55. DOI: 10.12737/2587-9111-2022-10-5-48-55

76. То, что нано! // РБК+. 2022. 31 окт. <https://nn.plus.rbc.ru/partners/63603a8e7a8aa915f1eec77a?ysclid=logv6enmkf106854575>

сейчас имеется порядка 35–40 литографических систем, отработавших по 15–20 лет и требующих замены на новое оборудование<sup>77</sup>.

Международные антироссийские санкции в исследуемой отрасли имеют свою особенность, отличающую их от санкций в других областях. Они оказывают значительное негативное воздействие на отечественную экономику, но практически не воздействуют на ГЦСП и ее участников. Связано это с тем, что Россия не является значимым игроком на глобальном рынке полупроводников. Так, на долю нашей страны в 2021 г. приходилось менее 0,1% мировых покупок чипов<sup>78</sup> (менее 0,6 млрд долл. от общего объема 555,9 млрд долл.<sup>79</sup>)<sup>80</sup>. Также Россия не является значимым рынком сбыта для полупроводникового оборудования.

## 2. Подход России к развитию сегмента полупроводникового оборудования в условиях санкций

### *Государственная финансовая поддержка развития национального сегмента полупроводникового оборудования*

В советский период развития электронной промышленности было освоено производство широкой номенклатуры полупроводникового оборудования. На территории СССР функционировали предприятия, состоящие как из научно-исследовательских организаций, так и опытных производств при них, что позволило создать замкнутый цикл производства оборудования и поддерживать посто-

---

77. Механик А. Фотолитография с пятнадцатилетним опозданием // СТИМУЛ. Журнал об инновациях в России. 2022. 21 мар. <https://stimul.online/articles/science-and-technology/fotolitografiya-s-pyatnadsatiletnim-opozdaniem/>

78. SIA Statement on Sanctions on Russia. Semiconductor Industry Association. Feb 24, 2022. <https://www.semiconductors.org/sia-statement-on-sanctions-on-russia/>

79. Global Semiconductor Sales, Units Shipped Reach All-Time Highs in 2021 as Industry Ramps Up Production Amid Shortage. Semiconductor Industry Association. Feb 14, 2022. <https://www.semiconductors.org/global-semiconductor-sales-units-shipped-reach-all-time-highs-in-2021-as-industry-ramps-up-production-amid-shortage/>

80. Ильина С.А. Российская микроэлектроника: в поисках альтернативных поставщиков на востоке / В сборнике: Экономическая и технологическая модернизация России: уроки истории и современные вызовы. Памяти Д.Е. Сорокина / Под ред. Н.Ю. Ахапкина. М: ИЭ РАН, 2022. С. 202–214.

янное развитие SME-сегмента. Однако на протяжении последних 35 лет отечественная электронная промышленность не являлась объектом внимания со стороны российского правительства и была хронически недофинансирована<sup>81</sup>, в связи с чем утратила свои рыночные позиции.

В 2021 г. наметился определенный прогресс, когда государствократно повысило уровень финансирования – в 8,5 раз (до 84,2 млрд руб.) по сравнению с 2020 г. В последующие два года объем инвестиций продолжил расти – в 2022 г. в 1,7 раз (до 144,2 млрд руб.) и в 2023 г. в 1,5 раза (до 210,1 млрд руб.) по сравнению с годом ранее (рис. 4).

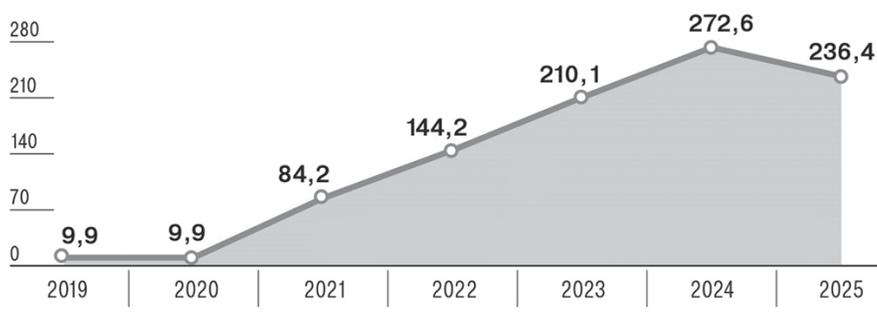


Рис. 4. Объем финансирования электронной промышленности Российской Федерации, в млрд руб.

Источник: Королев Н. Электронике готовят конвейер // Коммерсантъ. 2022. 6 окт. <https://www.kommersant.ru/doc/5595359?ysclid=19419tktc77981495>; Минпромторг на форуме «Микроэлектроника 2022».

Стоит отметить, что в последние годы правительством был принят ряд документов, определяющих развитие микроэлектроники по меньшей мере до 2030 г., таких как Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 г. и Государственная программа Российской Федерации «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности». В 2023 г. были утверждены Основы государственной политики

81. Механик А. Цели определены, задачи поставлены! За работу, товарищи? // СТИМУЛ. Журнал об инновациях в России. 2023. 16 окт. <https://stimulonline/articles/sreda/tseli-opredeleny-zadachi-postavleny-za-rabotu-tovarishchi/>

России в области развития электронной промышленности на период до 2030 г., в них, как подчеркнул заместитель председателя правительства, министр промышленности и торговли Д.В. Мантуров, «четко отражено, что системообразующий статус отрасли требует достижения всеобъемлющего технологического суверенитета»<sup>82</sup>.

Осенью 2023 г. российские власти объявили об амбициозных планах – создании в стране фактически с нуля машиностроения для микроэлектроники к 2027 г. Планируется к этому сроку разработать оборудование для всех этапов производства полупроводников. В период 2023–2025 гг. на проведение опытно-конструкторских работ (ОКР) по разработке оборудования для производства микро-, СВЧ-, силовой и оптоэлектроники, а также специализированных материалов будет направлено более 100 млрд руб. Финансирование будет организовано за счет субсидирования работ по действующим механизмам государственной поддержки, а также работ по государственным закупкам в соответствии с федеральным законом от 5 апреля 2013 г. № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» в рамках госпрограммы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации»<sup>83</sup>. В части формирования подотрасли электронного машиностроения уже запущено 15 проектов по оборудованию, и еще 20 пойдут в работу до конца 2023 г. Среди них разработки серийного оборудования безмасковой лазерной и электронно-лучевой литографии, а также сложная технология ионной имплантации<sup>84</sup>.

В то же время попытка ускоренными темпами разработать широкую номенклатуру полупроводникового оборудования уже сейчас сталкивается с рядом трудностей<sup>85</sup>:

– низкий уровень авансирования работ. Электронное машиностроение – это сегмент либо предприятий малого и среднего бизнеса, либо институтов, которым сложно

---

82. Там же.

83. Королев Н., Литвиненко Ю. Держи станок шире // Коммерсантъ. 2023. 12 окт. <https://www.kommersant.ru/doc/6267978>

84. Механик А. Цели определены, задачи поставлены! За работу, товарищи? // СТИМУЛ. Журнал об инновациях в России. 2023. 16 окт. <https://stimulonline/articles/sreda/tseli-opredeleny-zadachi-postavleny-za-rabotu-tovarishchi/>

85. Там же.

- взяться за проведение дорогостоящих работ с авансированием менее 50%. Это связано либо с недоступностью кредитов, либо просто с организационными моментами, которые институты не в состоянии преодолеть;
- требование федерального закона № 44-ФЗ о наличии 20% выполненных работ. Учитывая, что отрасль фактически не существовала последние 35 лет, большинство организаций не могут выполнить этот норматив, т.к. не осуществляли подобные работы в прошлом;
  - дефицит инфраструктуры для отладки и тестирования полупроводникового оборудования.

Многие эксперты отмечают весьма скромный объем инвестиций в 100 млрд руб. на фоне глобальных игроков индустрии. С одной стороны, это действительно так. Инвестиции в НИОКР пятерки ведущих мировых вендоров в 2022 г. (см. табл. 2) примерно в десять раз превышают эту сумму. С другой стороны, есть объективный предел того, сколько инвестиций способен сейчас поглотить российский SME-сегмент. Например, были случаи, когда на участие в проводимых тендерах по ОКР не было подано ни одной заявки. И только лишь со второго раза удавалось найти единственного исполнителя. Эксперты полагают, что узким местом российской микроэлектроники является вовсе не объем инвестиций, а нехватка инженерных и управленческих компетенций, а также дефицит высококвалифицированных специалистов<sup>86</sup>.

### *Кадровый потенциал в сегменте производства полупроводникового оборудования*

После распада СССР наша страна переключилась с внутренней разработки и производства на приобретение готовой импортной продукции, и многие специалисты из области микроэлектроники оказались не востребованы на рынке. Большая часть из них была вынуждена поменять сферу своей деятельности. Некоторые иммигрировали на Запад. Например, много людей с русскими фамилиями значится среди авторов патентов голландского производителя литографическо-

---

86. Там же.

го оборудования *ASML*<sup>87</sup>. Оставшиеся в отрасли в основном работали в ВПК и компаниях с государственным участием.

Невостребованность таких специалистов на рынке в течение длительного периода времени образовала кадровый разрыв. Более того, разрыв стал еще больше увеличиваться после усиления санкций в 2022 г. Связано это с низким уровнем оплаты труда в полупроводниковой отрасли, средний размер которой составлял на тот момент 50–60 тыс. руб.<sup>88</sup> В то же время в IT-секторе стал фиксироваться стремительный рост заработных плат, который привел к перетоку кадров в смежные отрасли. На российском рынке труда сложилась парадоксальная ситуация, когда оплата труда технологов полупроводникового производства значительно ниже, чем у разработчиков-схемотехников электроники, а у тех ниже, чем у разработчиков программного обеспечения. При этом по срокам, сложности и стоимости подготовки эти профессии располагаются в обратном порядке. В связи с этим даже высококвалифицированные отраслевые специалисты, с опытом работы более 10 лет, стали уходить в разработку программного обеспечения из-за сложившейся разницы в оплате труда<sup>89</sup>. В итоге в 2023 г. дефицит сотрудников в сфере микроэлектроники достиг 20–60% в зависимости от кадровых позиций<sup>90</sup>.

И если кадровая проблема в полупроводниковой отрасли в целом является сложной, то в сегменте производства оборудования просто критичной. Теперь, когда возникла потребность в высококвалифицированных сотрудниках, оказалось, что у предприятий не хватает ни инженеров, способных просчитать технологический процесс работы таких установок, ни ученых, обладающих достаточными компетенциями, например в области практической физики. Поиск

---

87. Туева Е. На короткой волне // Коммерсантъ. 2021. 29 сен. <https://www.kommersant.ru/doc/5005658?ysclid=lo72x39lgr653383577>

88. Королев Н., Корнев Т. Семь пядей в чип // Коммерсантъ. 2022. 05 сент. <https://www.kommersant.ru/doc/5546809>

89. Покровский И., Механик А. Во-первых – люди, во-вторых – технологии, в-третьих – инвестиции // СТИМУЛ. Журнал об инновациях в России. 2023. 23 янв. <https://stimul.online/articles/sreda/vo-pervykh-lyudi-vo-vtorykh-tekhnologii-v-tretikh-investitsii/>

90. Корнев Т. Кадры не заводятся в IT // Коммерсантъ. 2023. 27 июня. <https://www.kommersant.ru/doc/6068826>

профильных специалистов по всей стране показал, что их осталось буквально несколько человек, которым под 80 или за 80 лет<sup>91</sup>.

В результате, мы видим, что программ по привлечению иностранных или обратной релокации российских профессионалов в нашей стране, в отличие от Китая, не проводилось. Сталкиваясь с нехваткой отраслевых специалистов, российские компании пробуют приглашать на работу специалистов из Тайваня и Китая. Но разве могут отдельные компании конкурировать за дефицитные кадры с китайцами, которые поддержаны масштабными государственными программами привлечения талантов? Сейчас у наших предприятий нет возможности не то что привлечь, даже удерживать кадры<sup>92</sup>.

В 2023 г. Минобрнауки России увеличило число бюджетных мест на технические специальности в ВУЗах, однако требуются годы, и даже десятилетия, чтобы из молодого поколения вырастить высококвалифицированных сотрудников. Цикл подготовки профильного специалиста составляет минимум 8–9 лет<sup>93</sup>, т.е. приток кадров среднего уровня в полупроводниковую отрасль, из поступивших в 2023 г., мы сможем увидеть только в 2032–2033 гг., и это в случае если ситуация с условиями труда значительно улучшится и молодежь останется в отрасли. В то же время непонятно, кто будет осуществлять наставничество над ней, если в SME-сегменте не осталось экспертов из средней возрастной группы.

### *Национальные производители полупроводникового оборудования*

В предыдущей главе мы рассматривали успехи Китая в выращивании национальных производителей полупроводникового оборудования. Китайский SME-сегмент в настоящее время представлен солидной численностью и полным размерным рядом компаний — от небольших начинающих до крупных, пытающихся конкурировать

- 
91. Королев Н., Литвиненко Ю. Держи станок шире // Коммерсантъ. 2023. 12 окт. <https://www.kommersant.ru/doc/6267978>
  92. Покровский И., Механик А. Во-первых — люди, во-вторых — технологии, в-третьих — инвестиции // СТИМУЛ. Журнал об инновациях в России. 2023. 23 янв. <https://stimul.online/articles/sreda/vo-pervykh-lyudi-vo-vtorykh-tekhnologii-v-tretikh-investitsii/>
  93. Королев Н. Правительство снацпроектировало электронику // Коммерсантъ. 2022. 15 апр. <https://www.kommersant.ru/doc/5306920>

на глобальном рынке, которые осуществляют разработку широкого спектра технологий.

Россия успехами в этой области похвастаться пока не может. Согласно экспертной оценке академика РАН В.Б. Бетелина, в микроэлектронике присутствуют в основном малые и средние предприятия, которые держатся не на каком-то рынке, а на государственной поддержке, социально и экономически они незначимы<sup>94</sup>. Действительно, в настоящее время в отечественном SME-сегменте имеется небольшое число компаний, в основном субъектов малого и среднего предпринимательства, некоторые из них представлены в табл. 8. В значительной степени это связано с тем, что в период стагнации отечественной микроэлектроники разработчики коммерческого полупроводникового оборудования предпочитали свои технологии продавать как интеллектуальную собственность иностранным производителям, а не создавать готовые установки и внедрять их на рынок<sup>95</sup>.

Таблица 8. Российские производители полупроводникового оборудования в разбивке по продуктовым сегментам

Компания	Продуктовый сегмент	Численность сотрудников	Выручка, млн руб.	Субъект предпринимательства
Машпер	Элементы электронной оптики для литографии	30	2022 г. – н.д. 2021 г. – 30,6	Малое предприятие
Протон-Электротекс	Измерительное оборудование	н.д.	2022 г. – н.д. 2021 г. – 1 431,2	Крупное предприятие
Сорэнж	Оборудование для фотолитографии, зондовых измерений, скрайбирования и резки пластин	4	2022 г. – 21,0 2021 г. – 13,0	Микро-предприятие
Троицкий инженерный центр	Оптическая метрология	56	2022 г. – 256,6 2021 г. – 224,7	Малое предприятие

Источник: составлено автором по данным сайтов компаний и сервиса Экспресс-проверка контрагентов. Гарант. <https://proverka.gardoc.ru>

94. Механик А. Творческая технологическая независимость // СТИМУЛ. Журнал об инновациях в России. 2022. 12 авг. <https://stimulonline/articles/interview/tvorcheskaya-tekhnologicheskaya-nezavisimost/>

95. Туева Е. На короткой волне // Коммерсантъ. 2021. 29 сен. <https://www.kommersant.ru/doc/5005658?ysclid=lo72x39lrp653383577>

Стоит отметить, что отечественные производители, в отличие от китайских, выпускают продукцию фрагментарно, не закрывая полностью необходимые продуктовые сегменты в гражданском секторе. Например, *Manner* изначально было создано как 100%-ное дочернее предприятие голландского холдинга *Mapper Lithography* для выпуска элементов электронной оптики, предназначенных для литографического оборудования, выпускаемого головной компанией, т.е. фактически является производителем комплектующих, а не самостоятельным вендором. Компания *Технолаб* по соглашению с Корпорацией Дальнего Востока и Арктики создала предприятие по производству установок вакуумного напыления и плазменной обработки тонких пленок, используемое на начальном этапе изготовления чипов, применяемых в модулях беспроводной связи GSM и Wi-Fi<sup>96</sup>, т.е. планирует выпускать только один вид узкопрофильного оборудования.

По оценке заместителя министра Минпромторга России В.В. Шпака, сегодня собственными силами мы можем закрыть порядка 10–13% потребностей в полупроводниковом оборудовании<sup>97</sup>.

### ***Российские научные школы и активизация НИОКР в сегменте полупроводникового оборудования***

Снижение зависимости от импорта оборудования и компонентов стало критически важным в условиях усиления геополитической напряженности и санкций со стороны США и их союзников. Для обеспечения технологической независимости возникла необходимость в активизации НИОКР по созданию собственного оборудования для производства микроэлектроники. Однако это очень сложная задача, которая требует времени, значительных

---

96. Резидент Свободного порта запустил первое на Дальнем Востоке производство установок по созданию материалов для микрочипов. Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики. 2023. 15 фев. [https://erdc.ru/news/rezident-svobodnogo-porta-zapustil-pervoe-na-dalnem-vostoke-proizvodstvo-ustanovok-po-sozdaniyu-mate/?utm\\_referrer=korabel.ru%2Fnews%2Fcomments%2Frezident-svobodnogo-porta-zapustil-pervoe-na-dalnem-vostoke-proizvodstvo-ustanovok-po-sozdaniyu-materialov\\_dlya\\_mikrochipov.html](https://erdc.ru/news/rezident-svobodnogo-porta-zapustil-pervoe-na-dalnem-vostoke-proizvodstvo-ustanovok-po-sozdaniyu-mate/?utm_referrer=korabel.ru%2Fnews%2Fcomments%2Frezident-svobodnogo-porta-zapustil-pervoe-na-dalnem-vostoke-proizvodstvo-ustanovok-po-sozdaniyu-materialov_dlya_mikrochipov.html)

97. Механик А. Цели определены, задачи поставлены! За работу, товарищи? // СТИМУЛ. Журнал об инновациях в России. 2023. 16 окт. <https://stimulonline/articles/sreda/tseli-opredeleny-zadachi-postavleny-za-rabotu-tovarishchi/>

инвестиций, наличия квалифицированных кадров с развитыми компетенциями в этой области. Стоит отметить, несмотря ни на что, в нашей стране все-таки сохранились и работают научные школы и организации, способные разрабатывать и выпускать такое сложное оборудование, а также имеется определенный научный задел в этой области. Например, в настоящее время исследования и разработки по созданию собственных полупроводниковых литографических систем (ключевого производственного оборудования, которое является самым сложным и дорогостоящим элементом любого процесса производства микроэлектроники) при поддержке государства ведутся параллельно несколькими группами российских ученых<sup>98</sup>:

- команда разработчиков нижегородского *Института прикладной физики РАН (ИПФ РАН)* осенью 2022 г. представила демоверсию своей установки с рентгеновским источником излучения. Планируется к 2024 г. разработать альфа-машину, к 2026 г. – бета-машину, а к 2028 г. создать промышленный образец литографа. Ожидается, что нижегородская разработка будет обходиться дешевле в производстве, компактнее по размерам и эффективнее в 1,5–2 раза, чем мировые аналоги, а также будет иметь уникальную оптическую систему<sup>99</sup>;
- в *Московском институте электронной техники (МИЭТ)* ведется поисковый аванпроект концепции безмасочной рентгеновской литографии на базе источника синхротронного излучения, не имеющего мировых аналогов. В кооперации с *МИЭТ* над проектом работают завод *Микрон*, *ЗНТЦ*, *ИПФ РАН*, *НПП ЭСТО*, *ИСАН РАН*. Следует подчеркнуть, что у *МИЭТ* уже имелся научный задел – совместные исследования по данной тематике ведутся не один десяток лет учеными этого института

---

98. Ильина С.А. Активизация НИОКР в сфере электронного машиностроения для обеспечения технологической независимости // Общество и экономика. 2023. № 11. С. 56–66. DOI: 10.31857/S020736760027454-8

99. То, что нано! // РБК+. 2022. 31 окт. <https://nn.plus.rbc.ru/partners/63603a8e7a8aa915f1eec77a?ysclid=logv6enmkf106854575>

- и других научных организаций. Инвестиции в проект от Минпромторга составили 670 млн руб.<sup>100</sup>;
- Зеленоградский нанотехнологический центр (ЗНТЦ) в 2021 г. выиграл два конкурса Минпромторга на разработку отечественных литографических установок. Осуществить запуск серийного производства планируется к 2026 г. Совокупная стоимость инвестиций составит более 6 млрд руб.<sup>101</sup>

В свете проведенного исследования в отношении НИОКР, реализуемых российскими научными коллективами и организациями, можно отметить следующие положительные аспекты. Во-первых, поддерживаются проекты по разработке целой линейки оборудования – как с применением более зрелых технологий для производства товарных чипов, используемых в бытовой, промышленной, автомобильной и космической электронике, так и с применением передовых технологий, необходимых для потребительской электроники. Во-вторых, параллельная разработка альтернативных технологий повышает шансы на успешное доведение хотя бы одной из них до готовности к коммерческому использованию. В-третьих, конечно, мы не сможем создать собственного литографа в краткосрочной перспективе, однако существует вероятность получить определенные результаты в разумные сроки – к 2026–2028 гг.<sup>102</sup>

Однако специалисты полупроводниковой индустрии полагают, что для создания отечественной литографической системы, способной производить чипы по техпроцессу менее 10-нм, может

- 
100. Ученые университета проводят исследования для создания отечественного безмасочного литографа. МИЭТ. 2022. 4 мая. <https://www.miet.ru/news/143217>; В МИЭТе по госконтракту разработают концепцию безмасочного фотолитографа – для выпуска микросхем 28 нанометров и ниже // Zelenograd.ru. 2022. 30 марта. <https://www.zelenograd.ru/hitech/v-miete-razrabotayut-konceptsiyu-bezmasochnogo-fotolitograf-a-dlya-vypuska-mikroshem/>
101. В Зеленоградском нанотехнологическом центре началась разработка отечественного оборудования для фотолитографии // Zelenograd.ru. 2022. 02 фев. <https://www.zelenograd.ru/hitech/v-zelenogradskom-nanocentre-startovala-razrabotka-otechestvennogo-fotolitograficheskogo-oborudovaniya/>
102. Ильина С.А. Активизация НИОКР в сфере электронного машиностроения для обеспечения технологической независимости // Общество и экономика. 2023. № 11. С. 56–66. DOI: 10.31857/S020736760027454-8

потребуется от 5 до 10 лет, по самым оптимистичным прогнозам. В то время как Китай вплотную приблизился к тому, чтобы начать выпуск таких установок<sup>103</sup>.

### *Создание полупроводниковой инфраструктуры*

**Строительство фабрик по выпуску чипов.** В настоящее время зеленоградский завод *Микрон* является фактически единственным действующим производителем чипов (по топологии 180–90-нм) для гражданской электроники. Чипмейкером также освоен выпуск по топологии 65-нм, но лишь для штучных партий – инженерных образцов. Остальные предприятия отрасли осуществляют производство продукции для ВПК (выпускают более крупные чипы, по более зрелым технологиям)<sup>104</sup>.

Следует отметить, что диапазон топологических размеров 350–65-нм очень востребован в мире и занимает порядка 60% рынка<sup>105</sup>. Такая микроэлектроника имеет широкий спектр применения, например, используется для интернета вещей, в автомобильной промышленности, процессах автоматизации производства и строительства, здравоохранении, коммунальном хозяйстве, устройствах для умного дома, телекоммуникационном оборудовании, а также в банковской сфере<sup>106</sup>. Однако не подходит, в частности, для потребительской электроники (смартфонов, планшетов, ноутбуков) и искусственного интеллекта. Все действующие в России серийные производства чипов (90-нм и выше) работают на кремниевых пластинах диаметром 200 мм и исчерпали резервы уменьшения топологических размеров. Для освоения технологии 28-нм и ниже необходима установка технологического оборудования под

- 
103. Покровский И., Механик А. Во-первых – люди, во-вторых – технологии, в-третьих – инвестиции // СТИМУЛ. Журнал об инновациях в России. 2023. 23 янв. <https://stimul.online/articles/sreda/vo-pervykh-lyudi-vo-vtorykh-tekhnologii-v-tretikh-investitsii/>
  104. Королев Н. «Микрон» надеется подрасти // Коммерсантъ. 2022. 22 апр. <https://www.kommersant.ru/doc/5318409?ysclid=l6eqpf8bhd276549801>
  105. Василий Шпак: без суверенной микроэлектроники не бывает суверенитета // РИА новости. 2023. 1 ноя. <https://ria.ru/20231101/shpak-1906499130.html?ysclid=loi6aud4uc371229594>
  106. Механик А. Десянсто нанометров для интернета вещей // СТИМУЛ. Журнал об инновациях в России. 2018. 15 мая. <https://stimul.online/articles/interview/devyanosto-nanometrov-dlya-interneta-veshchey-/?ysclid=loibp9dh7k773091798>

кремниевые пластины диаметром 300 мм, а под это уже требуется строительство новой фабрики<sup>107</sup>.

Идея построить фабрику по выпуску чипов 28-нм возникла еще в 2015 г. Инициатором проекта стал зеленоградский завод *Микрон*. Инвестиции оценивались в объеме 1,5 млрд долл. Проект обсуждался с профильными министерствами, т.к. без государственной поддержки реализовать его было невозможно. Рассматривалась возможность финансирования путем участия одной из госкорпораций в акционерном капитале завода. Однако у участников рынка эта инициатива вызывала скепсис. Во-первых, экспертов смущала заявленная стоимость проекта. На тот момент необходимый объем инвестиций на строительство новой фабрики оценивался в 7 млрд долл., значительная часть из которых необходима для закупки оборудования и лицензий на технологии у зарубежных вендоров. Во-вторых, сама возможность эти закупки осуществить в условиях санкционных ограничений представлялась маловероятной. В итоге проект реализован так и не был<sup>108</sup>.

В 2022 г. в СМИ появилась информация об уже начавшемся строительстве фабрики для выпуска полупроводников по топологии 28-нм в Зеленограде, которое должно завершиться до конца 2024 г. Застройщиком выступает *Международный научно-технологический центр (МНТЦ) МИЭТ*, созданный на базе университета в 2020 г. с целью создания научно-учебного и опытно-производственного кластера<sup>109</sup>. Стоит отметить, что согласно Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 г. запланировано создание нескольких фабрик, работающих по бизнес-модели контрактного производства полупроводников (Foundry), для выпуска интегральных микросхем с топологическими нормами 28-нм, 14–12-нм и 7–5-нм.

---

107. Коломыченко М. «Санкции тут вообще ни при чем, они нас не касаются». Гендиректор «Микрона» Геннадий Красников о развитии микроэлектроники в России // Коммерсантъ. 2015. 18 ноя. <https://www.kommersant.ru/doc/2855421?ysclid=loicpwe45d528101615>

108. Коломыченко М., Сафронов И., Новый В. «Система» запросила чип-ложу // Коммерсантъ. 2015. 17 июня. <https://www.kommersant.ru/doc/2748277>

109. Воейков Д. В России началось строительство фабрики для выпуска процессоров по технологии 28-нм // CNews. 2022. 5 мая. [https://www.cnews.ru/news/top/2022-05-05\\_v\\_rossii\\_nachalos\\_stritelstvo?ysclid=loided4e3w355107961](https://www.cnews.ru/news/top/2022-05-05_v_rossii_nachalos_stritelstvo?ysclid=loided4e3w355107961)

**Создание сети технологических полигонов.** В июле 2023 г. стало известно, что при консолидации усилий Минпромторга России, Минобрнауки России, профильных вузов и участников полупроводниковой отрасли запланировано строительство сети технологических полигонов для отладки и тестирования полупроводникового оборудования, а также подготовки научных и инженерных кадров в этой области. Полигон станет площадкой для разработки и трансфера базовых технологических процессов. Каждая единица нового оборудования будет обладать цифровым двойником для сокращения цикла разработки и аттестации технологических процессов. Создание виртуальных технологических линий позволит увеличить объемы подготовки специалистов в области электронного машиностроения, а также процессов и технологий электронной компонентной базы. Участники проекта полагают, что использование таких площадок позволит примерно на год ускорить начало серийного выпуска полупроводникового оборудования.

Строительство ведется в рамках федерального проекта «Подготовка кадров и научного фундамента для электронной промышленности» государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации». Стоимость создания одного полигона, с учетом затрат на сложную инженерную инфраструктуру, оценивается в объеме 4,2–5,6 млрд руб. Одну из площадок планируется запустить осенью 2026 г. в Зеленограде на базе *Московского института электронной техники (МИЭТ)*. Подобные полигоны планируется также построить в Санкт-Петербурге и на базе АО «НПП “Исток” им. Шокина» во Фрязине (Московская область)<sup>110</sup>.

**Создание инфраструктуры технопарков.** Правительство РФ в октябре 2023 г. объявило о планах выделить более 2,2 млрд руб. в качестве субсидий на развитие инфраструктуры действующих технопарков в сфере электронной промышленности в течение ближайших трех лет. Государственная поддержка будет предоставлена четырем регионам: Владимирской обл. – 900 млн руб., Нижегородской обл. – 632,7 млн руб., Башкирии – 504 млн руб.

---

110. Королев Н. Оборудование загрузят на полигон // Коммерсантъ. 2023. 31 июля. <https://www.kommersant.ru/doc/6135519?ysclid=llm1nj07zu619689271>

и Татарстану – 241,8 млн руб. За счет субсидий управляющие компании смогут частично компенсировать затраты на проектирование, строительство и модернизацию промышленной инфраструктуры, а также приобретение оборудования и технологическое подключение к инженерным сетям<sup>111</sup>.

### *Накапливание стратегических запасов импортного полупроводникового оборудования*

Как было исследовано в предыдущих главах, ни на первичном, ни на вторичном рынках статистически значимого объема закупок полупроводникового оборудования российскими покупателями в последние годы выявлено не было. Это вполне объяснимо, т.к. немногочисленные отечественные производители уже многие годы находились под санкциями.

Однако даже если бы таких ограничений не было, вряд ли бы удалось накопить стратегические запасы импортного оборудования. Возьмем для примера завод *Микрон*. Согласно последней доступной отчетности, зеленоградское предприятие получило выручку в 2017 г. – 6,7 млрд руб., в 2018 г. – 7,6 млрд руб. и в 2019 г. – 7,9 млрд руб.<sup>112</sup> При этом, по данным годовой отчетности голландского производителя *ASML*<sup>113</sup>, среднегодовая стоимость передовой литографической EUV-системы в 2022 г. составила 176,1 млн евро, что превышает суммарную выручку *Микрона* за 2018–2019 гг. Иммерсионная литографическая DUV-система (предыдущее поколение машин) стоит дешевле, 64,6 млн евро, и примерно соответствует выручке российского предприятия за 2017 г. Для комплектования технологической линии по выпуску чипов помимо литографа требуется еще, как минимум, несколько десятков видов оборудования. Очевидно, что это неподъемный объем инвестиций для российского производителя за счет собственных или кредитных средств.

Второй момент, на который стоит обратить внимание, – это хроническая убыточность бизнеса. Убыток завода *Микрон* составил в 2017 г. – 1,6 млрд руб., в 2018 г. – 4,4 млрд руб. и в 2019 г. –

---

111. На развитие технопарков по производству электроники выделят 2,2 млрд рублей // Интерфакс. 2023. 16 окт. <https://www.interfax.ru/russia/926043>

112. Экспресс проверка контрагентов. Гарант. <https://proverka.gardoc.ru>

113. 2022 Annual Report. ASML. <https://www.asml.com/en/investors/annual-report/2022>

1,6 млрд руб., что соответствует 24%, 58% и 20% выручки соответствующего года. Скорее всего существенную роль в формировании отрицательных финансовых результатов предприятия сыграли отсутствие эффекта масштаба и узкий внутренний рынок сбыта, когда производители электроники предпочитали размещать свои заказы у иностранных контрактных производителей. В таких условиях планомерно убыточная деятельность может являться характерной для предприятий высококапиталоемкого Fabrication-сегмента и требовать дотаций от государства.

### *Параллельный импорт полупроводникового оборудования*

Правительством РФ в 2022 г. был введен в гражданский оборот новый инструмент поддержки, так называемый параллельный импорт<sup>114</sup>, разрешающий ввоз в страну оригинальных товаров по установленному перечню<sup>115</sup> без согласия правообладателя. В этот перечень вошла, в частности, полупроводниковая компонентная база от ведущих мировых вендоров. Это в некоторой степени решило проблему российских производителей электроники (конечных пользователей полупроводниковой продукции), которые смогли продолжить свою деятельность.

В то же время в названный перечень не было включено полупроводниковое оборудование. Вероятно, это связано с тем, что осуществить такую процедуру с ним довольно сложно, если вообще возможно. Полупроводниковое оборудование требует осуществления пуско-наладочных работ, послепродажной поддержки, сервисного обслуживания производителем, а также расходных материалов и запчастей зарубежного производства. Все эти особенности упрощают

---

114. Постановление Правительства РФ от 29.03.2022 г. № 506 «О товарах (группах товаров), в отношении которых не могут применяться отдельные положения Гражданского кодекса Российской Федерации о защите исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности, выраженные в таких товарах, и средства индивидуализации, которыми такие товары маркированы». Гарант. <https://internet.garant.ru>

115. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 19.04.2022 г. № 1532 «Об утверждении перечня товаров (групп товаров), в отношении которых не применяются положения подпункта 6 статьи 1359 и статьи 1487 Гражданского кодекса Российской Федерации при условии введения указанных товаров (групп товаров) в оборот за пределами территории Российской Федерации правообладателями (патентообладателями), а также с их согласия». Гарант. <https://internet.garant.ru>

соблюдение экспортного контроля иностранцами. Даже если допустить, что оборудование удастся ввезти в страну, то в этом случае контрактные производители столкнутся, наверное, с самой критической управляемой уязвимостью ГЦСП – прецизионным программным обеспечением. При отсутствии доступа к нему или при дистанционном отключении его правообладателем полупроводниковое оборудование превращается фактически в металлолом. Например, китайские фабрики, подпавшие под усиленные в 2023 г. санкции, стали поднимать вопрос об обратном выкупе иностранными поставщиками оборудования и компонентов к нему, т.к. без программного обеспечения его эксплуатация становится невозможной<sup>116</sup>.

Вероятно, возможно создать собственное программное обеспечение для импортного оборудования, но для этого требуются значительные временные, финансовые и кадровые ресурсы.

### *Приобретение импортного полупроводникового оборудования ведущих производителей на вторичном рынке*

В текущих условиях представляется, что России будет очень сложно приобрести полупроводниковое оборудование на вторичном рынке. Страны, присоединившиеся к санкциям, продавать нам его не будут. Осуществить в нашу страну поставки импортного подержанного оборудования мог бы Китай как обладатель самых больших и не полностью используемых запасов. Однако вряд ли это в интересах Поднебесной по следующим причинам:

- во-первых, страна рискует подпасть под вторичные санкции;
- во-вторых, оборудование нужно им самим для достижения определенных целей;
- в-третьих, имеется вероятность того, что китайцы намеренно изъяли свободное импортное оборудование с рынка, чтобы расчистить его для сбыта собственного оборудования.

---

116. Разин А. Китайская YMTС предложила поставщикам выкупить обратно оборудование для выпуска чипов – из-за санкций оно стало бесполезным // 3DNews. 2023. 29 июня. <https://3dnews.ru/1089181/popavshaya-pod-sanktsii-kitayskaya-ymtc-vinugdena-izbavlyatsya-ot-zakuplennogo-ranee-zarubegnogo-oborudovaniya>

Наиболее приоритетным направлением деятельности Китая видится экспорт продукции максимально высоких переделов. Перечислим китайскую продукцию в порядке убывания приоритета:

- конечный продукт электронной промышленности (смартфон, ноутбук и др.);
- полупроводниковая компонентная база (чипы и др.);
- полупроводниковое оборудование.

Первые два приоритета выходят за рамки настоящего исследования (SME-сегмента), приведем пример по третьему. В 2022 г. в СМИ появилась информация о планах зеленоградского завода *Микрон* на двукратное расширение своих производственных мощностей к 2025 г. по выпуску кремниевых пластин для чипов 180–90-нм. Необходимые инвестиции для реализации этого плана компания оценила в 10 млрд руб. Оборудование для новых линий (установки травления, осаждения и литографические системы) предполагалось закупить на вторичном рынке у азиатских компаний и установить его силами российских специалистов<sup>117</sup>. В июне 2023 г. стало известно, что *Микрон* в рамках программы расширения производства перешел в числе прочего на китайское оборудование. Как прокомментировал эту ситуацию заместитель генерального директора по операционной деятельности российского производителя, в условиях санкционных ограничений «приходится развиваться, поменяв одну лошадь на другую»<sup>118</sup>.

### *Приобретение импортного полупроводникового оборудования у производителей из дружественных стран*

На фоне практически полного отсутствия доступа к передовому импортному оборудованию *Микрон* в 2023 г. стал переходить на применение в своем производстве оборудования из Китая, Белоруссии и некоторых других стран (не уточняется каких)<sup>119</sup>.

117. Королев Н. «Микрон» надеется подрасти // Коммерсантъ. 2022. 22 апр. <https://www.kommersant.ru/doc/5318409?ysclid=l6eqpf8bhd276549801>

118. Королев Н., Тишина Ю. Завод «Микрон» перешел на китайское производственное оборудование // Коммерсантъ. 2023. 1 июня. <https://www.kommersant.ru/doc/6015501>

119. Королев Н., Тишина Ю. Завод «Микрон» перешел на китайское производственное оборудование // Коммерсантъ. 2023. 1 июня. <https://www.kommersant.ru/doc/6015501?ysclid=lo72c3yx1s818117704>

Вероятно, зеленоградскому заводу все-таки не удалось закупить импортного оборудования от ведущих вендоров на вторичном рынке у азиатских компаний, как это предполагалось сделать ранее.

В этом случае ситуация складывается двоякая. С одной стороны, нашей стране на сегодняшний момент крайне необходимо полупроводниковое оборудование для импортозамещения компонентной базы и развития Fabrication-сегмента. С другой стороны, во-первых, российский контрактный производитель теперь фактически участвует в отладке и тестировании китайского оборудования вместо отечественного, способствуя повышению его конкурентоспособности; во-вторых, несколько десятков видов полупроводниковых машин, которые изначально проектируются с учетом их совместимости, комплектуются в единую технологическую линию. Если в такие линии будет встраиваться китайское оборудование, то непонятно каким образом мы будем внедрять российские аналоги, когда они будут готовы к промышленному использованию, если отечественная ниша будет уже занята.

Исследование возможных вариантов приобретения полупроводникового оборудования, проведенное в последних четырех подразделах, показало, что России, в отличие от Китая, не удалось саккумулировать широкого спектра иностранных технологий, которые впоследствии могли бы быть использованы как для реинжиниринга, так и в качестве промышленного образца для усовершенствования характеристик отечественных разработок.

### *Выводы по третьей главе*

Негативные сигналы, которые долгое время поступали со стороны глобального рынка в отношении российской полупроводниковой индустрии, к сожалению, не получили своевременной реакции от российского правительства. Вероятно, это было связано с тем, что развитие отечественной отрасли требовало значительных ресурсов, которые на тот момент стране было сложно обеспечить. В связи с чем введение масштабных санкционных ограничений в 2022 г. вызвало шок на национальном полупроводниковом рынке. Российским компаниям пришлось в первую очередь искать способы выживания и адаптироваться к экстремальным условиям в авральном режиме, а правительству принимать антикризисные меры.

Тем не менее, во второй половине 2022 г. российская полупроводниковая индустрия смогла, некоторым образом, приспособиться к условиям новой нормальности. Кроме того, несмотря на сложное положение нашей страны после начала СВО, российское правительство смогло изыскать финансирование для поддержки и развития полупроводниковой отрасли в целом и SME-сегмента в частности. Председатель правительства М.В. Мишустин отметил, что в последние год-два правительство стало уделять большое внимание индустрии. Были введены расширенные меры поддержки, охватывающие всю национальную цепочку, от прикладных исследований до внедрения готовых образцов продукции. Благодаря этим мерам оборот производителей радиоэлектроники только за первое полугодие 2023 г. увеличился на треть по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года и превысил 932 млрд руб.<sup>120</sup>

Перед Россией стоит сложная задача. В отличие от Китая, который уже имел достаточно развитую полупроводниковую промышленность на момент усиления санкций, нашей стране придется большинство сегментов национальной цепочки создавать практически с нуля. По состоянию на 2019 г. отечественная микроэлектроника была представлена 10 предприятиями, осуществляющими серийное производство, и 65 дизайн-центрами, осуществляющими работы по проектированию и созданию полупроводниковой продукции<sup>121</sup>.

Важно отметить, что российское правительство имеет амбициозные планы. В качестве ориентира для достижения технологического суверенитета заместитель председателя правительства, министр промышленности и торговли Д.В. Мантуров и заместитель министра промышленности и торговли В.В. Шпак обозначили реализацию импортозамещения порядка 70% всех видов оборудования, используемых в особо критических базовых технологических процессах, к 2030 г. Кроме того, к этому же сроку планируется

- 
120. Механик А. Цели определены, задачи поставлены! За работу, товарищи? // СТИМУЛ. Журнал об инновациях в России. 2023. 16 окт. <https://stimulonline/articles/sreda/tseli-opredeleny-zadachi-postavleny-za-rabotu-tovarishchi/>
121. Распоряжение Правительства РФ от 17 января 2020 г. № 20-р О Стратегии развития электронной промышленности РФ на период до 2030 г. и плане мероприятий по ее реализации. Гарант. <https://internet.garant.ru>

достичь уровня производства полупроводников по топологическим нормам 14-нм. Для достижения заявленных целей правительство планирует создать устойчивый рынок для российских решений путем стимулирования внутреннего спроса и наращивания экспорта продукции, а также расширить технологические партнерства с дружественными странами, без которых невозможно обеспечить массового применения и быстрого внедрения новых технологий<sup>122</sup>.

Стоит отметить, что некоторые эксперты высказывают скептицизм относительно выполнимости правительственных планов в заявленные сроки. Поскольку государственные инициативы находятся либо в проектной стадии, либо имеют длительные сроки реализации, сложно сейчас подвести даже промежуточные итоги. Автор вернется к рассмотрению данного вопроса в следующих исследованиях.

В свою очередь, государство особое внимание уделяет непосредственно финансовой поддержке. Безусловно, поддержка такого рода важна, но при этом она носит ограниченный характер, в т.ч. числе и потому, что невозможно не учитывать существования объективных бюджетных ограничений, приобретающих особое значение в сложных условиях санкций и политической неопределенности. В этом контексте было бы актуальнее активнее применять инструментарий регуляторного стимулирования для преодоления кадрового голода. Речь идет о том, чтобы направить государственные усилия на наиболее узкое место в отечественном SME-сегменте – дефицит кадров. Кроме того, необходимо учесть возможность применения опыта Китая в привлечении талантов. Это включает предоставление значительных привилегий, таких как предоставление жилья в собственность сразу или после отработки определенного количества лет, с поддержкой со стороны государства. Такие привилегии могут быть ориентированы на:

- высококвалифицированных иностранных специалистов и соотечественников из-за рубежа;
- среднеквалифицированных специалистов, которые имеют высшее образование и опыт работы, но по ряду причин ушли из отрасли;

---

122. Механик А. Цели определены, задачи поставлены! За работу, товарищи? // СТИМУЛ. Журнал об инновациях в России. 2023. 16 окт. <https://stimulonline/articles/sreda/tseli-opredeleny-zadachi-postavleny-za-rabotu-tovarishchi/>

— начинающих специалистов, которые получили соответствующее высшее образование, но не выбрали работу в данной отрасли.

В первом случае речь идет о штучных специалистах, во втором и третьем — об ограниченном числе людей. Применение таких мер помогло бы обеспечить приток сотрудников в SME-сегмент прямо сейчас. Однако следует признать, что это может вызвать новый переток кадров из смежных отраслей. В этом случае необходима скоординированная политика государства для регулирования дисбалансов на рынке труда.

Автор доклада столкнулся с ограничениями в проведении полноценного анализа российского сегмента полупроводникового оборудования в связи с тем, что существенная часть информации находится в закрытом доступе, такая как нормативные правовые акты, реализуемые мероприятия и объемы финансирования. В связи с чем анализ основывался на открытых данных СМИ и интернет-сайтов, интервью и публичных выступлениях должностных лиц, оценках участников полупроводникового рынка. В данной работе не представлено авторских рекомендаций по развитию отечественного SME-сегмента в связи с тем, что оценить полноту и результативность реализуемых мероприятий по фрагментарной информации не представляется возможным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подытоживая, следует отметить, что в Концепции технологического развития на период до 2030 г. не прописано критериев, при которых технологический суверенитет может рассматриваться как достигнутый. С другой стороны, в соответствии с нормативным правовым документом, технологический суверенитет считается обеспеченным при выполнении следующих условий: *в области критических технологий* – установление и поддержание технологического паритета со странами-лидерами; *в области сквозных технологий* (к ним относятся технологии микроэлектроники) – достижение технологического лидерства за счет создания научно-технологических заделов и потенциала их коммерциализации. В этом отношении логично, что России необходимо занять лидирующие позиции по всему перечню сквозных технологий. Следовательно, если понимать технологический суверенитет в контексте условий, прописанных в Концепции, то его достижение навсегда останется мифом не только для России, но и для любой другой страны в мире.

Проведенное исследование показало, что эксперты и Китая, и России полагают, что достижение импортозамещения на уровне 70% может трактоваться как достижение технологического суверенитета в сегменте полупроводникового оборудования. Более того, обе страны не рассматривают полной изоляции национальной полупроводниковой промышленности как перспективного варианта. Напротив, они настроены на сохранение существующих взаимодействий на глобальном рынке и развитие сотрудничества с дружественными странами на макрорегиональных рынках.

С учетом названных допущений попытаемся ответить на вопрос, который был поставлен в названии доклада: *«Технологический суверенитет в полупроводниковой промышленности: миф или реальность?»*. Для таких крупных и развитых стран, как Китай и Россия, технологический суверенитет является реальностью. Однако здесь возникают еще два вопроса: *«Сколько времени потребуется для его достижения?»* и *«Какая цена будет заплачена в результате?»*.

Китай и Россия, попав под международные санкции, оказались в очень трудном положении. Изоляция от глобального рынка могла привести к откату национальной промышленности на несколько десятилетий назад и серьезному ухудшению качества общественной жизни. Такая ситуация стала рассматриваться как угроза национальной безопасности, требующая принятия соответствующих мер. Подсанкционные страны были вынуждены использовать все доступные пути и средства для достижения технологического суверенитета.

В текущей ситуации Китай благодаря своей развитой промышленной системе, ресурсным возможностям и проактивной политике правительства имеет шанс стать первой страной в мире, достигнувшей технологического суверенитета в сегменте полупроводникового оборудования, скорее всего в среднесрочной перспективе.

Россия, опираясь на дружественные отношения с Китаем, могла бы прибегнуть к использованию китайского оборудования для обеспечения национальной цепочки создания стоимости полупроводников. Однако такой подход был бы безответственным с точки зрения национальной безопасности, поскольку зависимость от нескольких участников глобального рынка мы поменяли бы на зависимость от одной страны. В этой связи наша страна пошла по пути импортозамещения. Россия также имеет возможность достигнуть технологического суверенитета, но в долгосрочной перспективе, после 2030 г.

Конечно, в процессе импортозамещения как компаниям, так и гражданам, являющимся потребителями чипов, а также устройств, в которые они интегрированы, придется столкнуться с некоторыми ограничениями и принять их. Это связано с тем, что в процессе развития полупроводниковой промышленности возможно появление отечественной продукции с худшими технологическими и эксплуатационными характеристиками, при этом с более высокой стоимостью

по сравнению с зарубежными аналогами. Такая ситуация сейчас наблюдается в Китае. Однако в отличие от восточной страны Россия вряд ли располагает финансовыми ресурсами для субсидирования ценовой разницы. Более того, по мере развития сегментов электронной промышленности в целом и микроэлектроники (как подотрасли) в частности правительство будет вынуждено вводить протекционистские меры для обеспечения внутреннего рынка сбыта. В результате эксплуатационные неудобства и увеличение финансовой нагрузки лягут на плечи конечных пользователей. Однако важно осознавать, что это является ценой, которую мы платим за нашу экономическую независимость и национальную безопасность.

Некоторые эксперты рассматривают налаживание более тесного сотрудничества между Россией, обладающей уникальными перспективными разработками, и Китаем, обладающим мощной промышленной системой, как перспективный вариант для дальнейшего развития сегмента оборудования для производства полупроводников<sup>123</sup>. С одной стороны, такая кооперация между двумя странами может стать прочным ядром для создания новых макрорегиональных цепочек с дружественными странами. С другой стороны, существует риск потери контроля над российской интеллектуальной собственностью.

В качестве потенциальных рынков сбыта полупроводникового оборудования российским правительством рассматриваются страны ЕАЭС (Армения, Белоруссия, Казахстан, Киргизия), Иран, Турция, ближневосточные страны арабского мира, Аргентина, Бразилия и Индия<sup>124</sup>. Однако в связи с активным вытеснением Китая из ГЦСП восточная страна будет вынуждена перенаправить свое внимание на другие рынки сбыта, включая те, которые являются перспективными для России. Китай в настоящее время продвинулся дальше в развитии SME-сегмента и имеет больше шансов укрепить свои позиции на этих рынках раньше, чем Россия. В результате это может привести к конкуренции между двумя странами.

---

123. Покровский И., Механик А. Во-первых — люди, во-вторых — технологии, в-третьих — инвестиции // СТИМУЛ. Журнал об инновациях в России. 2023. 23 янв. <https://stimul.online/articles/sreda/vo-pervykh-lyudi-vo-vtorykh-tekhnologii-v-tretikh-investitsii/>

124. Механик А. Цели определены, задачи поставлены! За работу, товарищи? // СТИМУЛ. Журнал об инновациях в России. 2023. 16 окт. <https://stimul.online/articles/sreda/tseli-opredeleny-zadachi-postavleny-za-rabotu-tovarishchi/>

## ЛИТЕРАТУРА

- Зеленский А.А., Морозкин М.С., Грибков А.А.* Обзор полупроводниковой промышленности в мире и России: производство и оборудование // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2021. Т. 26. № 6. С. 468–480. DOI: 10.24151/1561-5405-2021-26-6-468-480.
- Ильина С.А.* Активизация НИОКР в сфере электронного машиностроения для обеспечения технологической независимости // Общество и экономика. 2023. № 11. С. 56–66. DOI: 10.31857/S020736760027454-8.
- Ильина С.А.* Российская микроэлектроника: в поисках альтернативных поставщиков на Востоке / В сборнике: Экономическая и технологическая модернизация России: уроки истории и современные вызовы. Памяти Д.Е. Сорокина / Под ред. Н.Ю. Ахапкина. М.: ИЭ РАН, 2022. С. 202–214.
- Ильина С.А.* Электронная промышленность в условиях санкций: Россия и Китай — партнеры или конкуренты? // Научные исследования и разработки. Экономика. 2022. Т. 10. № 5. С. 48–55. DOI: 10.12737/2587-9111-2022-10-5-48-55.
- Экономика России в условиях новых вызовов: от адаптации к развитию: Доклад / Отв. ред. М.Ю. Головнин, Е.Б. Ленчук. М.: Институт экономики РАН, 2023.
- 2023 State of The U.S. Semiconductor Industry. Semiconductor Industry Association. [https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2023/08/SIA\\_State-of-Industry-Report\\_2023\\_Final\\_080323.pdf](https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2023/08/SIA_State-of-Industry-Report_2023_Final_080323.pdf)
- Allen G. C.* China's New Strategy for Waging the Microchip Tech War. CSIS. May 03, 2023. [https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/2023-05/230503\\_Allen\\_Microchip\\_War.pdf?VersionId=hGO78uxC3Z3yCzdS8R\\_bqINgg7RQpHJO](https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/2023-05/230503_Allen_Microchip_War.pdf?VersionId=hGO78uxC3Z3yCzdS8R_bqINgg7RQpHJO)
- Cohen M.* Are Chinese Courts Out to “Nab” Western Technology: An Inconclusive WSJ Article // China IPR. Feb 24, 2023. <https://chinaipr.com/2023/02/24/are-chinese-courts-out-to-nab-western-technology-an-inconclusive-wsj-article/>
- Hunt W., Khan S.M., Peterson D.* China's Progress in Semiconductor Manufacturing Equipment. Accelerants and Policy Implications. CSET Policy Brief. CSET. March 2021. <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/CSET-Chinas-Progress-in-Semiconductor-Manufacturing-Equipment.pdf>

- Khan S.M., Mann A., Peterson D.* The Semiconductor Supply Chain: Assessing National Competitiveness. CSET. January 2021. <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/The-Semiconductor-Supply-Chain-Issue-Brief.pdf>
- State Council Notice on the Publication of Certain Policies to Promote the High-Quality Development of the Integrated Circuit Industry and the Software Industry in the New Period. PRC State Council. Translation. CSET. [https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/t0195\\_IC\\_software\\_policy\\_EN.pdf](https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/t0195_IC_software_policy_EN.pdf)
- Thadani A., Allen G. C.* Mapping the Semiconductor Supply Chain: The Critical Role of the Indo-Pacific Region. CSIS. May 30, 2023. <https://www.csis.org/analysis/mapping-semiconductor-supply-chain-critical-role-indo-pacific-region>
- VerWey J.* The Health and Competitiveness of the U.S. Semiconductor Manufacturing Equipment Industry. Office of Industries. Working Paper ID-058. July 2019. [https://www.usitc.gov/publications/332/working\\_papers/id\\_058\\_the\\_health\\_and\\_competitiveness\\_of\\_the\\_sme\\_industry\\_final\\_070219checked.pdf](https://www.usitc.gov/publications/332/working_papers/id_058_the_health_and_competitiveness_of_the_sme_industry_final_070219checked.pdf)



Редакционно-издательский отдел:  
Тел.: +7 (499) 129 0472  
e-mail: [print@inecon.ru](mailto:print@inecon.ru)  
сайт: [www.inecon.ru](http://www.inecon.ru)

*Научный доклад*

**С.А. Ильина**

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ  
В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ:  
МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?  
(на примере сегмента оборудования для производства  
полупроводников)

Оригинал-макет – Валериус В.Е.  
Редактор – Полякова А.В.  
Компьютерная верстка – Хацко Н.А.

Подписано в печать 27.12.2023 г.  
Заказ № 28. Тираж 300. Объем 3,7 уч. изд. л.  
Отпечатано в ИЭ РАН

ISBN 978-5-9940-0744-0



9 785994 007440