

Полупроводниковая микроэлектроника – 2025 г.

Часть 3. Мировой рынок полупроводников растет, а цели стран по национальному самообеспечению отрасли не достигаются



Дмитрий БОДНАРЬ,
к.т.н., генеральный директор,
АО «Синтез Микроэлектроника»

Мировой рынок в 2025 г. вырастет, но неравномерно по типам продукции и регионам. Основной вклад в его рост вносит бум ИИ. Европа оказалась в стороне от этого бума. Из-за забюрократизированности европейских структур она не достигнет цели – повысить с 10 до 20% свою долю в мировых полупроводниках. США стали основным бенефициаром роста мировой отрасли и ее регионализации, но даже они не в состоянии обеспечить ее национальную самодостаточность. Япония с помощью передовых мировых компаний и господдержки развивает собственное современное производство чипов. Китай является мировым лидером по господдержке своей отрасли и стремится к максимальному импортозамещению, особенно в сфере разработки и выпуска полупроводникового оборудования, но он пока не в состоянии достигнуть ее самообеспечения. В гонке за передовыми дорогостоящими нанометровыми технологиями участвуют только четыре компании.

Мировой полупроводниковый рынок растет благодаря буму ИИ

В первой части этой серии статей уже рассматривались некоторые особенности мирового полупроводникового рынка в 2025 г., создающие опасные, зависящие от ИИ тенденции в его развитии [1].

Организация World Semiconductor Trade Statistics (WSTS) опубликовала свой прогноз мирового полупроводникового рынка на 2025 г., повысила прогноз его роста и подтвердила сохранение сильной динамики на мировом рынке полупроводников в 2026 г. (табл. 1) [2].

Уверенный рост в 2025 г. обусловлен увеличением секторов логики и памяти; другие сегменты постепенно восстанавливаются. После более сильного, чем ожидалось, III кв. мировой рынок полупроводников, согласно прогнозу, вырастет на 22,5% в 2025 г. и достигнет 772 млрд долл. Это почти на 45 млрд долл. (примерно на 7%) выше прогноза, сделанного WSTS летом 2025 г.

Пересмотр прогнозов в сторону повышения обусловлен, в основном, сегментом логических компонентов и памяти, чему способствовали связанные с ИИ приложения, сохраняющий спрос на вычислительную инфраструктуру и центры обработки данных (ЦОД). Ожидается, что сегмент логических компонентов вырастет на 37,1% (на 8% больше предыдущего прогноза), а сегмент памяти – на 27,8% (+11%). Другие категории продукции демонстрируют рост после спада 2024 г., но восстановление остается умеренным: датчики: +10,4%; микропроцессоры: +7,9%; аналоговые компоненты: +7,5%; оптоэлектроника: +3,7%. Ожидается небольшое сокращение сегмента дискретных компонентов, главным образом из-за сохраняющегося спада в автомобильном секторе.

В региональном плане ожидается рост в Северной и Южной Америке и Азиатско-Тихоокеанском регионе на 25–30%, что обусловлено сильным спросом на микросхемы логики и памяти. В Европе прогнозируется рост на 5,6%, в то время как в Японии ожи-

дается спад на 4,1%. Европа остается слабой из-за своей ориентации на промышленный и автомобильный рынки и отставания в буме ИИ. Однако это не единственные проблемы Старого Света, и мы их рассмотрим ниже. Япония испытывает проблемы из-за падения автомобильного рынка и слабой вовлеченности в производство продукции для ИИ.

По прогнозам WSTS, в 2026 г. мировой рынок полупроводников вырастет на 26,3% и достигнет 975 млрд долл. Рост ожидается во всех регионах и категориях продукции. Лидерами рынка вновь станут сегменты памяти и логики, которые увеличатся более чем на 30% в годовом исчислении. Ожидается, что большинство других категорий продуктов продолжат постепенное восстановление, расширяясь более умеренными темпами.

В региональном плане ожидается рост всех основных рынков. Наибольший вклад по-прежнему вносят Северная и Южная Америка и Азиатско-Тихоокеанский регион, в то время как в Европе и Японии прогнозируется низкий двузначный рост.

Таблица 1. Мировой полупроводниковый рынок за 2024–2026 гг. по регионам и типам продукции по прогнозам ассоциации WSTS*						
Регионы и типы продукции	Сумма, млн долл.			Рост год/год, %		
	2024 г.	2025 г. **	2026 г. **	2024 г.	2025 г. **	2026 г. **
Северная и Южная Америка	195,123	251,926	338,574	45,2	29,1	34,4
Европа	51,250	54,127	60,429	–8,1	5,6	11,6
Япония	46,739	44,835	50,164	0,0	–4,1	11,9
Азиатско-Тихоокеанский регион	337,437	421,354	526,293	16,4	24,9	24,9
Итого по мировому рынку, млн долл.	630,549	772,243	975,460	19,7	22,5	26,3
Дискретные полупроводники	31,026	30,900	33,436	–12,7	–0,4	8,2
Оптоэлектроника	41,095	42,597	45,020	–4,8	3,7	5,7
Сенсоры	18,923	20,894	22,713	–4,1	10,4	8,7
Интегральные микросхемы	539,505	677,852	874,291	25,9	25,6	29,0
Аналоговые	79,588	85,552	91,988	–2,0	7,5	7,5
Микропроцессоры	78,633	84,839	96,620	3,0	7,9	13,9
Логика	215,768	295,892	390,863	20,8	37,1	32,1
Память	165,516	211,568	294,821	79,3	27,8	39,4
Итого по изделиям, млн долл.	630,549	772,243	975,460	19,7	22,5	26,3
* Числа в таблице округлены до полных миллионов долларов США, вследствие чего может возникнуть незначительная разница между строкой «Итого по мировому рынку» и «Итого по изделиям».						
** Прогноз.						

По мнению автора этой статьи, имеется несколько опасных факторов, которые могут неожиданно сработать и вызвать системный спад в отрасли, в связи с чем к чересчур оптимистичным прогнозам следует относиться с осторожностью [1]. Главной уязвимостью прогноза WSTS является ставка на бум ИИ, который может неожиданно прекратиться. Не обязательно, что это произойдет именно в 2026 г., но разрушительный эффект от такого события будет очень большим.

Европа – региональный полупроводниковый середняк или аутсайдер?

За последние два десятилетия доля Европы на мировом полупроводниковом рынке снижалась, и она хронически отставала в освоении самых передовых технологий несмотря на то, что именно в Европе размещены самые передовые мировые полупроводниковые инновационные центры: бельгийский Imec, германский Fraunhofer IAF, французский CEA-Leti, а также мировой монополист в оборудовании DUV- и EUV-литографии нидерландская ASML. Европа и ее полупроводниковые гранды несколько лет, по сути, препятствовали строительству на континенте передовой технологической фабрики TSMC, что оправдывали ее нецелесообразностью для автомобильного рынка как главного для Европы. Однако именно авторынок пострадал в начале пандемии в наибольшей степени, а к настоящему времени – из-за экспансии Китая в секторе электромобилей. ЕЭС оказался в стороне от бума ИИ и не похоже, что он готов исправить ситуацию. Но главной проблемой Европы стала заблю-

рокрадизированность европейских структур, длительные сроки принятия решений и практически неэффективный контроль за их исполнением. По правилам ЕЭС решения должны приниматься единогласно всеми членами Евросоюза, но политические и экономические интересы его участников сильно различаются, и даже простые решения принимаются с трудом. В развитии дорогостоящей полупроводниковой промышленности не очень заинтересованы промышленно слабые страны, не ощущающие себя бенефициарами таких проектов. Шансы на реализацию имеют только инвестиционные проекты, финансируемые самими компаниями. Ухудшение отношений с США с вступлением в должность Дональда Трампа оказалось дестабилизирующим для экономики Евросоюза.

«Закон ЕС о чипах», принятый в феврале 2022 г., направлен на то, чтобы к 2030 г. удвоить долю Европы в мировом производстве чипов – с 10 до 20%. Закон, принятый в ответ на вызванные пандемией потрясения, признает полупроводники важнейшими для цифрового суверенитета Европы, ее экономической конкурентоспособности и долгосрочных инноваций.

На текущий момент Еврокомиссия (ЕК) одобрила семь проектов, пять из которых предполагают совокупные государственные и частные инвестиции на сумму более 1 млрд евро каждый [3]. Кратко упомянем их.

В Германии:

- совместное предприятие ESMC, в состав которого входят компании TSMC, Bosch, Infineon и NXP с инвестициями более 10 млрд евро в строительство фабри-

ки по производству кремниевых чипов по 28/22-нм и 16/12-нм нормам, получившее 5 млрд евро в рамках господдержки. Ожидается, что предприятие выйдет на полную мощность к 2029 г.;

- производство Infineon в Дрездене для дискретных силовых полупроводников и аналоговых/смешанных ИС с инвестициями 4,46 млрд евро, получившее господдержку 920 млн евро. Выход на полную мощность запланирован на 2031 г.
- В Италии:**
- компания STMicroelectronics, которая инвестирует 5 млрд евро в фабрику по производству SiC-чипов в Катании, получила господдержку в размере 2 млрд евро. Эта фабрика выйдет на полную мощность к 2032 г.
- сингапурская компания Silicon Box строит в Новаре завод стоимостью 3,2 млрд евро, специализирующийся на передовой сборке, включая интеграцию на уровне панелей и 3D-технологий. Компания получила господдержку в размере 1,3 млрд евро и планирует выйти на полную мощность к 2033 г.

Во Франции:

- компания ST и GlobalFoundries совместно инвестируют 7,5 млрд евро в завод в Кроле по производству 300-мм пластин по технологии FD SOI при господдержке в 2,9 млрд евро. Предполагалось, что завод будет запущен в эксплуатацию к 2027 г., но, согласно сообщениям, проект был приостановлен, что вызывает неопределенность относительно его будущего.

Другие проекты на уровне млрд евро:

- Onsemi расширяет предприятие по производству SiC-продукции в Чехии с инвестициями 1,9 млрд евро. Проект получил одобрение господдержки размером 450 млн евро;
- компания NXP получила кредит ЕИБ в размере 1 млрд евро для НИОКР в ряде стран ЕС;
- в конце года власти Европы одобрили субсидии компании GlobalFoundries в размере 495 млн евро на расширение ее предприятий в Дрездене, что покрывает 45% общих расходов компании в размере 1,1 млрд евро.

Эти проекты с продолжительными сроками реализации после 2030 г. отражают стремление Европы восстановить более значимое присутствие в мировой полупроводниковой отрасли.

Неудача с самым крупным проектом из всех, где Intel при прежнем руководстве компании строила инвестиционные планы в Магдебурге (Германия), отражает препятствия на пути реализации европейской стратегии в области производства микросхем. Сделка, анонсированная в 2022 г. как проект стоимостью 17 млрд евро с потен-

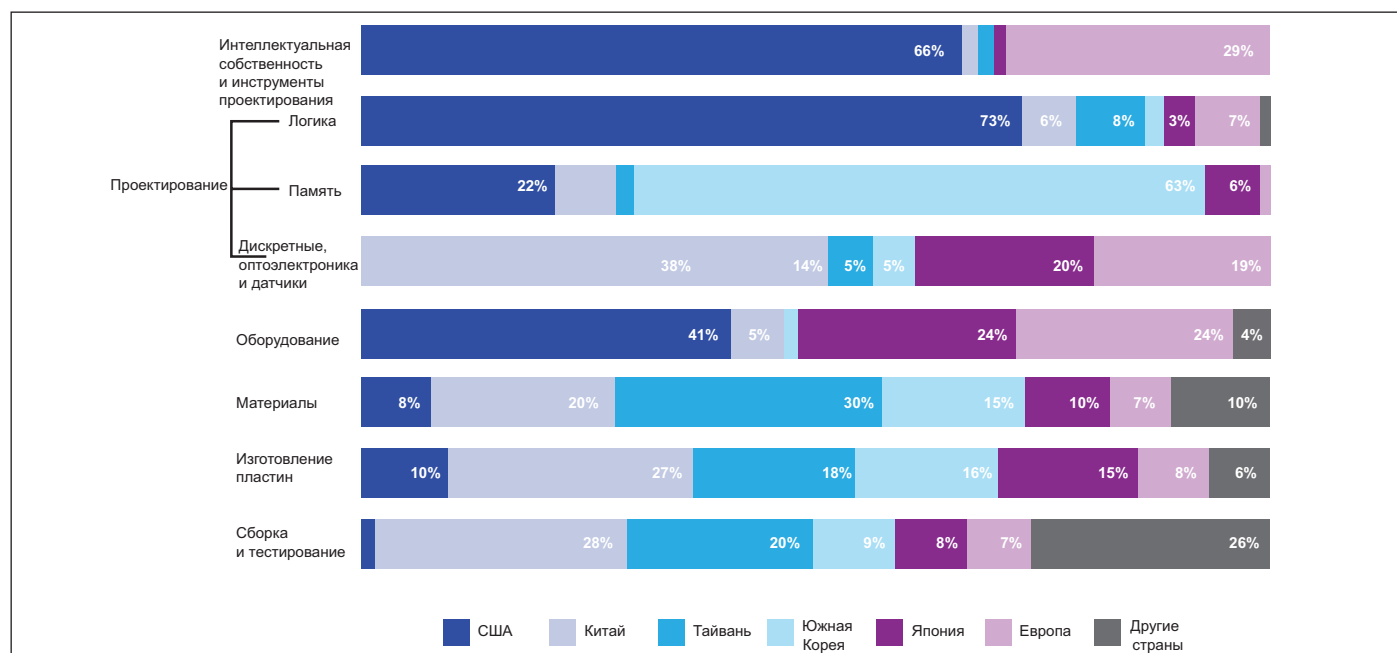


Рис. 1. Доли стран в разных сегментах мирового рынка полупроводников

циалом увеличения до 30 млрд евро, включала одобренную господдержку в размере до 9,9 млрд евро. Проект был официально отменен в середине 2025 г.

Привлечение частных инвестиций крайне важно, но сделать это оказалось непросто. Инвесторы взвешивают риски и предпочитают вкладывать средства в другие страны на более выгодных условиях.

Европейская счетная палата по результатам аудита сделала заключение, что доля Европы на мировом полупроводниковом рынке достигнет всего 11,7% к 2030 г., что значительно ниже целевого показателя в 20% [4]. И хотя коалиция Semicon, объединяющая все 27 государств-членов ЕС, призвала к выработке более действенного «Закона о чипах 2.0» [5], скорее всего, эта инициатива утонет в обсуждениях или программа снова будет сорвана.

Таким образом, в создавшихся условиях шансов на удвоение рынка к 2030 г. нет, и у Европы больше шансов уступить Японии и стать полупроводниковым аутсайдером среди мировых регионов.

США – основной бенефициар роста мировой микроэлектроники и ее регионализации

У Северной Америки и, в первую очередь, у США – самые высокие темпы роста. Но пока это достижение нельзя поставить в заслугу нынешней администрации Белого Дома, поскольку данные результаты во многом являются следствием принятого в 2022 г. администрацией Джона Байдена «Закона о чипах», бума ИИ и курса, взятого частными инвесторами и ком-

паниями на внутреннее развитие полупроводниковой отрасли США. При этом более важными являются не выделяемые государством субсидии, которые составляют всего 52 млрд долл., а курс властей на стимулирующее развитие. Размер частных инвестиций оказался почти в 10 раз выше господдержки. Дональд Трамп является радикальным противником выделения госинвестиций и полагает, что американские и зарубежные компании должны за свой счет развивать проекты и особенно строительство новых производств на территории США. Такая точка зрения сама по себе может быть вполне жизнеспособной, но в сочетании с методами силового давления и тарифной политики Трампа может оказаться контрпродуктивной, так как подрывает рынок. Ее результаты будут видны только в 2026 г. К заслугам нынешнего Белого Дома следует отнести принятые меры по спасению корпорации Intel и рациональное решение по покупке 10% ее акций в счет запланированных госинвестиций по «Закону о чипах» и программ в интересах Минобороны США [1].

Американская полупроводниковая ассоциация (SIA) отмечает, что доля Америки в мировых производственных мощностях микросхем резко сокращалась – с 37% в 1990 г. до всего лишь 10% к 2022 г. [6]. Если бы эта тенденция сохранялась, американская полупроводниковая промышленность рисковала отстать от передовых позиций в области дальнейшего развития технологий обработки, проектирования и архитектуры, а также материалов, критически важных для разработки микросхем следующего поколения. SIA отмечает, что всего за несколько лет произо-

шла колоссальная отдача от инвестиций: было объявлено о более чем 100 проектах в 28 штатах на общую сумму свыше полутриллиона долларов частных инвестиций. Ожидается, что эти проекты создадут и поддержат более 500 тыс. рабочих мест в США и помогут утроить мощности по производству микросхем в США к 2032 г. SIA поддержала «Закон о чипах» и призвала администрацию Белого Дома и Дональда Трампа к взвешенности в принятии решений во всех сферах, а не только в полупроводниковой. В обращении президента и генерального директора SIA Джона Нойффера (John Neuffer) от 7 августа 2025 г. заявляется, что ассоциация хочет больше знать о плане президента по тарифам на полупроводники и ожидает совместной работы с администрацией по формированию глобальных торговых инициатив [7]. Это обращение недвусмысленно свидетельствует о том, что такие решения не должны приниматься без учета мнения полупроводникового сообщества.

По оценке SIA, компании со штаб-квартирой в США лидируют в проектировании и разработке программных ИР-средств, а также занимают почти половину доли мирового рынка в производстве полупроводникового оборудования (рис. 1) [6]. Большая часть оставшейся доли на мировом рынке производства оборудования приходится на страны-союзники, включая Нидерланды и Японию, компании которых проводят значительные производственные и научно-исследовательские работы в США. В отношении таких материалов для производства полупроводников, как исходные пластины и эпитласты, фоторезисты, химические вещества, фото-

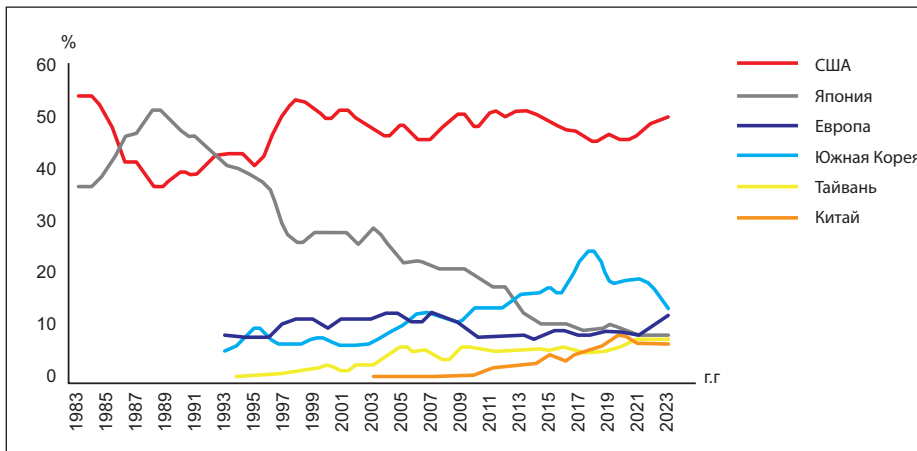


Рис. 2. Динамика изменения долей разных стран на мировом полупроводниковом рынке в 1983–2023 гг.

маски, газы, подложки, выводные рамки и т. д. производители полупроводников США полагаются, главным образом, на поставщиков из Тайваня, Японии, Южной Кореи и Китая. Именно в сфере производства полупроводниковых материалов находится основной риск для американской отрасли в возможном нарушении цепочек поставок по любой причине, что делает невозможным самообеспечение отрасли. Секторы IP и производства оборудования дают США наибольшие возможности для влияния на мировую отрасль и отдельные страны, чем США с успехом пользуются уже несколько десятилетий.

Современные сборочные предприятия и технологии развиваются с помощью зарубежных компаний Amkor, SK Hynix, TSMC и др., строящих заводы на территории США. Компания Amkor Technology увеличила с 2 до 7 млрд долл. инвестиции в строительство сборочного завода в Аризоне и самого современного сборочного производства в США [8]. Этот завод с 3000 новых рабочих мест будет поддерживать таких крупных клиентов, как Apple и Nvidia, и дополнять рядом находящиеся предприятия по производству пластин, которыми управляет TSMC. Таким образом, изготовление чипов и их сборка вместо Тайваня будут полностью локализованы в США, а производство начнется в начале 2028 г.

Даже если цель самообеспечения полупроводниковой отрасли США открыто и прямо не ставится, она всегда имеется в виду при обсуждении причин нарушения цепочек поставок и национальной безопасности. США могут принудить союзников к строительству в США заводов по производству основных материалов для полупроводникового производства, как это произошло с фабриками производства чипов и сборки. Поставку литографического оборудования мирового монополиста ASML они способны решить, например, если поспособствуют перено-

су штаб-квартиры компании из Европы в США. Однако добычу и поставку сырьевых материалов для производства полупроводников, отсутствующих в недрах США, им придется решать с помощью других стран. США являются первой страной в мире, способной достигнуть условного самообеспечения в полупроводниковой отрасли, и они уже основные бенефициары мировой регионализации. **В условиях текущей мировой глобализации достигнуть полного самообеспечения во всех сферах микроэлектроники нереально даже для США.**

Япония пытается найти путь к былому электронному величию

Япония была мировым лидером в производстве полупроводников в 1980-х гг., но в настоящее время отстает от технологических лидеров Кореи, Тайваня и США. К концу 1980-х гг. японские производители полупроводников захватили более половины мирового рынка полупроводников, обогнав США (рис. 2) [9]. В 1989 г. шесть из десяти ведущих полупроводниковых компаний во всем мире были японскими. Спонсируемая государством программа очень масштабного роста степени интеграции (VLSI), начатая в 1976 г., сыграла важную роль в объединении НИОКР среди крупных полупроводниковых фирм и позволила совершить технологические прорывы, включая достижения в области технологии памяти DRAM. Под угрозой успеха Японии США ввели антидемпинговые гарантии, вынудили ее открыть свой рынок для иностранных производителей и применили 100-% тарифы на японскую DRAM-память. К другим факторам, способствующим падению производства полупроводников в Японии, относятся быстрое повышение курса иены после 1985 г., неспособность инвестировать в логические микросхемы в эпоху персональных компьютеров, неспособность японских фирм адаптироваться к новым бизнес-мо-

делям «фаблесс-фаундри» и усиление конкуренции со стороны новых участников в Кореи и Тайване. К 2023 г. доля Японии в мировых продажах полупроводников снизилась до менее чем 10%; при этом японских компаний в топ-10 по всему миру не оказалось. Однако Япония остается одним из мировых лидеров в производстве полупроводникового оборудования и запчастей к ним, пластин и материалов. Tokyo Electron и SCREEN имеют общую 88-% долю рынка оборудования нанесения-проявления и 57-% долю оборудования для очистки пластин. Advantest владеет 58-% долей рынка для оборудования тестирования. На рынке литографического оборудования доминирует нидерландская компания ASML (62%), за которой следуют японские Canon (31%) и Nikon (7%). Совокупная доля рынка кремниевых пластин компаний Shin-Etsu и SUMCO составляет 53%. Shin-Etsu, JSR, Tokyo Ohka Kogyo и Fujifilm Electronics Materials вместе владеют 87% рынка фоторезистов, а на долю EUV-литографии приходится 95%. Эти компании задают тон по своим направлениям в мировой отрасли. Япония является мировым лидером в разработке и производстве новых материалов сверхширокозонных полупроводников (Ga_2O_3 , алмаз и др.).

Благодаря ряду факторов Японии удалось сохранить глобальную конкурентоспособность в этих областях. **Во-первых**, японские компании в цепочке поставок периферийных полупроводников не пострадали от американско-японского соглашения по полупроводникам 1986 г. и связанных с ним торговых трений. **Во-вторых**, мощная промышленная база Японии в области высокоточного производства, материаловедения и высокотехнологичной промышленности является основой для специализации этих фирм в нишевых областях. **В-третьих**, Япония располагает прочной внутренней экосистемой мелких и средних поставщиков и подрядчиков и, следовательно, надежной базой для получения компонентов и деталей. Однако производство чипов в Японии развивалось слабо и, в основном, в составе крупных IDM-компаний (Sony, Panasonic, Toshiba, Mitsubishi и др.) с очень широкой специализацией, включающей бытовую технику и оборудование. Большинство мировых компаний давно отказалось от этой модели развития в высокотехнологических отраслях, а Япония с большим опозданием пошла по мировому пути, когда все бывшие японские гранды стали «сыпаться» на мировом рынке.

Серьезный шанс на широкое восстановление производства чипов в Японии появился после пандемии, осложнения отношений между Китаем и Тайванем и угрозы полномасштабного блокирования со стороны Китая. США стали воспринимать Японию как возможную альтернативу и подстраховку Тайваня, но для этого было необходимо

развивать и осваивать самые современные техпроцессы. Слияние экономических и геополитических факторов, высокий уровень квалификации кадров и устойчивости производственно-сбытовой цепочки и слабые уязвимости, связанные с зависимостью от импорта материалов, многолетние союзнические отношения с США делают Японию самым подходящим участником рынка для этой роли.

Политика Японии по оживлению полупроводниковой промышленности свидетельствует о явном пересмотре прошлых подходов. Промышленную политику Японии в послевоенную эпоху можно в значительной степени охарактеризовать как ориентированную на внутренние аспекты и не подверженную риску. Была подчеркнута самостоятельная разработка технологий. Однако политики неохотно разрешали крупным иностранным производителям полупроводников работать в Японии. В течение десятилетий экономической стагнации, начиная с 1990-х гг., государственная поддержка промышленности стала слабее. Новая промышленная политика Японии в отношении полупроводников использует сильные международные технологические союзы и предоставляет весьма значительные субсидии иностранным фирмам.

Министерство экономики, торговли и промышленности (METI) обнародовало новую стратегию в июне 2021 г. по возрождению полупроводниковой промышленности. В рамках первого шага Japan Advanced Semiconductor Manufacturing (JASM) – совместного предприятия TSMC, Sony и Denso – открыла в Кумамото новый завод по производству 12–28-нм логических микросхем. Строительство второго завода началось в конце 2024 г. с теми же партнерами, плюс Toyota, ориентируясь на 6–40-нм чипы. Второй шаг включает поддерживаемый правительством стартап Rapidus с консорциумом из восьми крупнейших японских компаний – Toyota, Sony, Denso, Kioxia, NEC, NTT, Softbank и Mitsubishi UFJ. Rapidus сотрудничает с IBM и Imec для массового производства 2-нм микросхем. Кроме того, решающее значение для этого шага имеет создание Центра передовых полупроводниковых технологий, который выполняет НИОКР, в то время как Rapidus занимается производством. На третьем этапе Япония заглядывает за горизонт и ставит перед собой цель создать технологию, основанную на конвергенции фотоники и электроники, что принесет пользу ЦОД ИИ и технологиям 6G.

Бюджетная поддержка полупроводниковой промышленности в Японии по доле ВВП опережала такую поддержку в других крупных экономиках. Правительство Японии выделило 3,9 трлн иен (27 млрд долл.) с 2021 по 2023 гг. на поддержку полупроводниковой промышленности, что эквивалентно 0,7% ВВП. Как доля ВВП, эта

сумма больше, чем деньги, выделенные в соответствии с «Законом о чипах» США и Европейским актом чипов. Большая часть субсидий досталась JASM и Rapidus, а в случае с Rapidus одну пятую часть затрат на начало массового производства возьмет на себя правительство. В ноябре 2024 г. правительство Японии объявило о плане предоставления дополнительных 10 трлн иен (65 млрд долл.) до 2030 г. для поддержки полупроводниковой промышленности в виде субсидий, инвестиций через аффилированные с правительством учреждения и долговых гарантий по кредитам, поступающим от финансовых групп частного сектора.

Японские планы ренессанса чипов сталкиваются с несколькими препятствиями, включая рост глобальной конкуренции, технологические и финансовые риски, а также проблемы с рабочей силой. Бесконечная глобальная гонка субсидий может привести к растрате государственных ресурсов, если они не приведут к технологическим прорывам, а проект с Rapidus может оказаться рискованной инвестицией. Если же он увенчается успехом, то слабым звеном станет отсутствие современных высокотехнологичных сборочных предприятий, что потребует отправки пластин на сборку в Тайвань и последующего возврата корпусированных приборов в Японию.

Страна восходящего солнца пытается более чем через 40 лет найти и реализовать свой шанс если не восстановить бывшее мировое величие в полупроводниковой электронике, то с ее помощью дать новый импульс развития японской экономике. Удастся ли ей этого достигнуть – вопрос открытый.

В настоящее время Япония ликвидирует многолетние пробелы, обусловленные отсутствием современных фабрик производства чипов и сборки и открыто не ставит цель самообеспечения отрасли, но с учетом высокой национальной дисциплины способна стать второй страной после США, частично добившись этой цели.

Китай пытается достигнуть максимального самообеспечения в микроэлектронике

Полупроводниковая микроэлектроника в Китае относится к приоритетным отраслям промышленности не только по критериям национальной безопасности, но и вследствие ее стратегической важности для всей экономики страны, поскольку ее развитие обеспечивают многие другие отрасли, научные, торговые, государственные и др. учреждения. Провалы в развитии микроэлектроники сразу отразятся на экспорте, импорте, торговом балансе, занятости населения в Китае. По этим причинам международная интеграция последние два десятилетия была главным стержнем развития микроэлектроники в стране, позволившем Китаю использовать

самые передовые мировые технологические достижения и с помощью зарубежных компаний, а также самостоятельно внедрить их в своей стране. Самыми продуктивными оказались 2000–2010 гг., когда с помощью зарубежных компаний и технологий Китай не только совершил стремительный рывок, но и создал отечественных крупных даже по мировым меркам игроков на электронном рынке: Huawei, SMIC, ZTE и др. Экономические и технологические успехи Китая оказались настолько значительными, что уже в 2018–2019 гг. вызвали отрицательную реакцию со стороны США и привели к началу торговых, технологических, а в настоящее время тарифных войн. Пандемия коронавируса добавила уязвимости китайской отрасли, зависящей не только от зарубежных рынков сбыта, но и от поставок в рамках международной кооперации оборудования, комплектующих, материалов и др. США стали включать китайские компании в пакетные и именные санкционные списки и стало очевидно, что старые правила уже не работают и долгосрочные планы развития электронной промышленности Китая под угрозой. Страна была вынуждена взять курс на импортозамещение и обеспечение самодостаточности в микроэлектронике.

Рынок Китая значителен – он достиг примерно 182,8 млрд долл. в 2024 г.; при этом прогнозы предполагают продолжение устойчивого роста.

Правительство Китая занимает центральное место в его стратегии в области полупроводников. Развитие полупроводниковой промышленности Китая по-прежнему происходит благодаря значительным инвестициям, инженерной изобретательности в условиях сложного взаимодействия национальных амбиций, постоянных геополитических и технологических препятствий.

Такой подход отражает уникальную экономическую модель. В самом Китае считают, что быстрые скачки роста и технологическое развитие страны за относительно короткий период времени произошло благодаря сочетанию государственного руководства на макроуровне и рыночных механизмов на микроуровне. В то время пока некоторые западные наблюдатели объясняют стремительный рост Поднебесной сложившейся системой государственного капитализма, ориентированной на крупные государственные предприятия, появилась более тонкая модель государственно-частного сотрудничества.

Еще в 2015 г. власти Китая в программе «Сделано в Китае 2025» поставили цели по достижению самодостаточности в 70% к 2025 г. и 100% к 2030 г. [10]. Очевидно, что как первый, так и второй показатели не будут достигнуты. Эти показатели являются целью, к которой следует постоянно стремиться и быть в непрерывном движении.

Несмотря на внутренние успехи, Китай по-прежнему зависит от импорта.

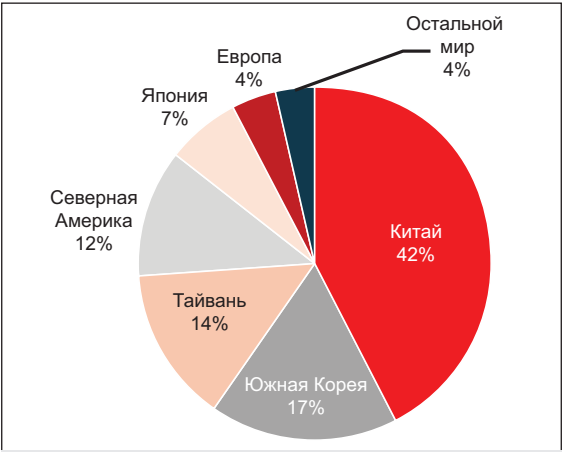


Рис. 3. Доли стран в расходах на закупку полупроводникового оборудования в 2024 г.

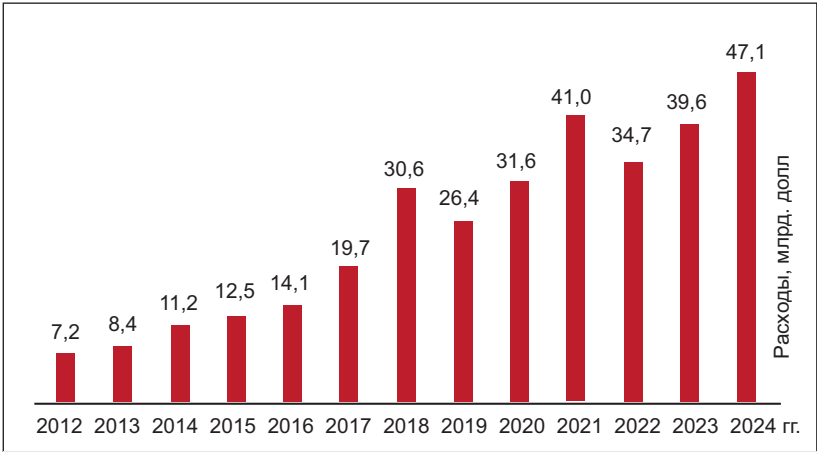


Рис. 4. Расходы Китая на закупку импортного полупроводникового оборудования в 2012–2024 гг.

Например, в III кв. 2023 г. импорт оборудования для производства микросхем вырос на 93% до 8,75 млрд долл., а импорт литографического оборудования увеличился почти в четыре раза. Это свидетельствует о сохраняющейся зависимости Китая от иностранных поставщиков, включая Нидерланды (доля которых составила 30%) и Японию (доля 25%). В 2024 г. на долю Китая приходились 42% мировых расходов на полупроводниковое оборудование (рис. 3) [11], что является самым высоким показателем в мире; при этом ежегодный рост составил 35%. Ежегодные расходы Китая на закупку импортного оборудования по данным таможенных органов Китая выросли с 7,2 млрд долл. в 2012 г. до 47,1 млрд долл. в 2024 г. (рис. 4). По статистике SEMI, расходы Китая в 2024 г. составили 49,55 млрд долл. [12], и эти различия могут быть вызваны несо-

ответствиями между прохождением учета в начале и конце года. Именно производство полупроводникового оборудования является самым слабым звеном китайской отрасли. Ему был отдан главный приоритет после 2020 г., и на его развитие правительство Китая стало направлять основные усилия по финансовой поддержке. Еще одной тенденцией в этой сфере стало укрупнение и слияние китайских производителей оборудования. Компании NAURA, AMEC и ACM Research добились заметных успехов в технологических исследованиях, разработках и расширении рынка, постепенно становясь ключевыми игроками в рыночной конкуренции. Они являются производителями оборудования платформенного типа, которое охватывает несколько областей, включая травление, нанесение тонких пленок, очистку и ионную

имплантацию. Компании Piotech, Kingsemi, Hwatsing, Changchuan Technology, Jingce Electronics и Skyverse Technology являются специализированными производителями полупроводникового оборудования. Как отмечается некоторыми изданиями, к 2025 г. общий уровень самообеспеченности Китая полупроводниковым оборудованием должен был достигнуть 50%, но это нереальный показатель – он может быть достигнут только в определенных сегментах оборудования. По состоянию на 2024 г. уровень самообеспеченности полупроводниковым оборудованием в Китае увеличился до 13,6%, а к 2030 г. ожидается рост до 50–60%. Текущее состояние китайских компаний, их специализация и доли рынка отражены в табл. 2 [13]. По итогам 2024 г. тройка ведущих китайских производителей оборудования уверенно нарастила объемы продаж и вошла в топ-20 в Китае: NAURA – 2,927 млрд долл. (топ-6) с ростом 48,3% год/год, AMEC – 1,086 млрд долл. (топ-15) с ростом 48,9%, ACM Research – 0,699 млрд долл. (топ-20) с ростом 38,4% [11]. Первые пять мест уверенно удерживают зарубежные производители оборудования платформенного типа Applied Materials, Lam Research, Tokyo Electron, ASML (специализированное литографическое оборудование) и компания KLA (оборудование метрологического типа). Обеспеченность китайским оборудованием для удаления фоторезиста достигает 75%, для очистки пластин и травления – 50–60%, для термических процессов – 30–40%. Особо стоит отметить быстрый рост выпуска некоторого китайского оборудования для продвинутых техпроцессов 7–14 нм, чего раньше в Китае не было. Очевидно, что самым сложным и проблемным в сегменте оборудования является DUV- и EUV-литография. Стоимость современного оборудования High-NA EUV-литографии от ASML, применяемого для 2–3-нм технологий, превышает 250 млн долл. Китай эксплуатирует приобретенные у ASML установки DUV-литографии. Однако после введения санкций на поставку

Таблица 2. Китайские производители и уровень самообеспеченности китайским полупроводниковым оборудованием			
Назначение оборудования	Уровень самообеспеченности	Китайские производители	Мировые производители
Удаление фоторезиста	75–90% (устоявшийся процесс); <30% (передовой процесс)	BEST, NAURA, ACM, Zhejiang YuQian, JET PLASMA	Hitachi High-Tech, Lam Research
Очистка	50–60%	ACM, NAURA, PNC, Kingsemi, BEST	SCREEN, TEL, Lam Research
Травление	50–60% (устоявшийся процесс); <15% (передовой процесс)	AMEC, NAURA, Joysingtech, BEST, Piotech, ACM, Kingsemi	AMAT, TEL, Lam Research
Термообработка	30–40%	NAURA, JSG, AMEC, Piotech, Joysingtech	ASML, AMAT, TEL, Lam Research
PVD-напыление	15–20% (устоявшийся процесс); <10% (передовой процесс)	NAURA, SC, Joysingtech, CETC, HF Kejing	ASML, AMAT, TEL, Lam Research
CVD/ALD-осаждение	5–10%	NAURA, JSG, AMEC, ACM, Piotech, Joysingtech	ASML, AMAT, TEL, Lam Research
Химико-механическая полировка	15–25% (устоявшийся процесс); <10% (передовой процесс)	ACM, Hwatsing, CETC, Hubei Dinglong	DuPont, Thomas West, JSR
Нанесение и проявление фоторезиста	10–15% (устоявшийся процесс); <10% (передовой процесс)	ACM, Kingsemi, NAURA, AMEC, Beijing Huafeng Test & Control	Dow Chemical, JSR, TOK America
Ионная имплантация	10–20% (устоявшийся процесс); <5% (передовой процесс)	Kingstone, CETC, NAURA, AMEC	AMAT, Axcelis Technologies
Метрология	10–15% (устоявшийся процесс); <5% (передовой процесс)	SMEE, Skyverse Technology, Jingce, Hwatsing, NAURA	KLA, Santec Holdings
Литографическое оборудование	10–15% (устоявшийся процесс); 0–1% (передовой процесс)	SMEE, CETC, NAURA	ASML, Canon, Nikon

запчастей к ним и обновление программного обеспечения возникают проблемы даже с их текущей эксплуатацией.

Вопрос разработки собственного оборудования литографии стал для Китая задачей национальной безопасности. И проблема не только в невозможности освоения техпроцессов 3 нм и менее без этих установок, а в невозможности эксплуатации установок DUV-литографии при отсутствии запчастей. Китай даже организовал собственное производство запчастей к импортному оборудованию компаний Applied Materials, Lam Research и др.

Литография наглядно демонстрирует большую сложность современного производства полупроводников. Производители литографического оборудования должны освоить ряд передовых технологий: источник света, которым обычно является лазер; оптическую систему для фокусировки лазерного луча; систему юстировки для обеспечения точности экспонирования; фоторезисты и фотошаблоны. Как правило, производитель литографического оборудования выполняет функции системного интегратора; компания должна интегрировать оптику, источник света и системы юстировки, которые передаются на аутсорсинг, а также работать со сторонними организациями для правильного выбора фоторезиста. Создание фотошаблонов требует сотрудничества между производителем литографической системы, разработчиком техпроцесса и изготовителем фотошаблонов.

Судя по всему, координацией работ по разработке и взаимодействию с производителем чипов SMIC и оборудования литографии занимается компания Huawei, а ее руководитель лично информирует высшее руководство страны о ходе работ. В условиях постоянного международного давления и ограничений Huawei предприняла амбициозный шаг по созданию вертикально интегрированной устойчивой отечественной цепочки поставок полупроводников, эффективно реализуя амбиции интегрированного производителя устройств (IDM). Huawei **работает или оказывает значительное влияние, по крайней мере, на 11 заводов по всему Китаю**, включая изготовителей памяти, логических чипов и контрактных производителей. С учетом научно-исследовательских центров эта зона может возрасти до 20 объектов.

После большого шума вокруг выпуска SMIC процессора Kirin по 7-нм технологии и последовавших новых санкций со стороны США Китай закрыл информацию по этим работам и запретил ее предоставление СМИ. Очевидно, что на новой закрытой линии производства чипов, которую построила Huawei, также ведутся эти работы. В сентябре появилась непро-

веренная и противоречивая информация, что SMIC проводит испытания оборудования DUV-литографии, поставленного неизвестным стартапом Yuliangsheng [14], главным акционером которой является компания SiCarrier, основанная в 2021 г. компанией Huawei. Никакой информации о технических возможностях новой установки и результатах испытаний не сообщается. Очевидно, что обе упомянутые компании не имеют компетенций в создании такого сложного оборудования и являются прикрытием. По неподтвержденным слухам, Китай с помощью бывших инженеров ASML и запчастей со вторичного мирового рынка создал прототип EUV-установки. По мнению автора статьи, приобрести запчасти для современных EUV-литографов на вторичном рынке маловероятно по следующим причинам.

Во-первых, на этом рынке они могут появиться в результате разборки отработавшего свой срок EUV-оборудования, а такого еще просто нет. Во-вторых, новые запчасти поставляются строго конечному пользователю, ранее купившему EUV-оборудование с подтверждением заводского номера. В-третьих, многие запчасти для EUV- и DUV-установок и, в первую очередь, для большеразмерной оптики и мощных источников света не взаимозаменяемы. Следовательно, вероятность создания EUV-сканера таким способом в Китае крайне мала, чего не скажешь об улучшении характеристик DUV-сканеров.

Наибольшей компетенцией по литографическому оборудованию среди китайских компаний обладает SMEE [15]. Еще в 2023 г. сообщалось, что она до конца 2023 г. должна выпустить первую установку для 28-нм фотолитографии. Слухов и спекуляций на тему реального создания современных китайских сканеров будет много, пока не появятся убедительные подтверждения достигнутого. Возможно, сканер на 28 нм от SMEE существует и испытан, но насколько он готов к промышленному применению и конкурентоспособен, неизвестно. Появляется много сообщений о создании альтернативных сканеров и источников света на принципиально другой основе, но они, скорее, носят спекулятивный характер.

Очень серьезным ударом по Китаю является резкое ограничение Японией поставок фоторезистов многих типов, составляющих до 60% китайского потребления, а также ограничение послепродажного обслуживания и поставок запчастей для фотолитографического оборудования компаний Canon и Nikon, количество которых в Китае составляет около 1000 шт. [16]. Эти действия Японии последовали после демарша Китая на открытую поддержку Японией Тайваня.

Китай ускоренно движется в сторону импортозамещения, повышению доли внутреннего производства полупроводников, разработке и выпуску полупроводникового оборудования, но до самообеспечения, особенно в технике и технологии самой современной литографии, очень далеко. Ближайшей вполне достижимой целью может стать условное самообеспечение для зрелых техпроцессов от 28 нм. **Но Китай может стать полностью самодостаточным в технологиях, производстве пластин, чипов, приборов и оборудования для выпуска широкозонных полупроводников.**

Еще в 2014 г. Китай создал «Большой фонд» поддержки полупроводниковой промышленности. Государственные инвестиции Поднебесной превысили 150 млрд долл. с 2014 г. [17]. По состоянию на 2021 г. Китай инвестировал 73 млрд долл. путем прямого финансирования отечественных полупроводниковых компаний, а также еще 50 млрд долл. в виде грантов, инвестиций в акционерный капитал и кредитов под низкие проценты. Каждый этап программы «Большой фонд» соответствовал определенному сегменту цепочки поставок полупроводников.

Первая очередь фонда была создана в 2014 г. с уставным капиталом 138,7 млрд юаней (19,2 млрд долл.). Вторая очередь была создана пять лет спустя с уставным капиталом в 204,1 млрд юаней (28,2 млрд долл.). В 2024 г. Китай запустил третий этап фонда объемом 344 млрд юаней (48 млрд долл.) [18]. На первом этапе ресурсы направлялись на производство полупроводников и разработку микросхем. Второй этап, запущенный в 2019 г., был направлен на приобретение оборудования и материалов. Сообщается, что на третьем этапе инвестиции будут, в основном, сделаны в оборудование для производства микросхем.

По некоторым оценкам, китайские власти с 2024 г. предоставят производителям чипов около 142 млрд долл. финансовой поддержки в разных формах, но определить ее структурный состав сложно в силу закрытости информации. Размер государственной поддержки в Китае превышает совокупную поддержку США и Европы вместе взятых [19].

Истинная стоимость обеспечения полной самодостаточности составляет около 1 трлн долл., что значительно превышает текущий уровень финансирования. Существенным нефинансовым барьером остается острая нехватка узкоспециализированного человеческого капитала – опытных ветеранов в области интеграции процессов, оптимизации доходности и разработки алгоритмов автоматизированного электронного проектирования (EDA). Synopsys, Cadence и под-

разделение Siemens EDA контролируют свыше 80% китайского рынка САПР. Хотя «Большой фонд» в состоянии поддержать программы обучения, он не способен мгновенно создать глубокие неявные знания, которые накапливаются за десятилетия на передовом технологическом крае. Привлеченные зарубежные специалисты могут только кратковременно решить некоторые задачи, особенно на прорывных направлениях.

По прогнозу SEMI, в 2025 г. Китай сохранил свои позиции лидера в мировых расходах на закупку полупроводникового оборудования в размере 38 млрд долл., что на 24% ниже по сравнению с 50 млрд долл. в прошлом году [20]. Прогнозируется, что в 2026 г. расходы снизятся еще на 5% до 36 млрд долл. Хотя мировые расходы на полупроводниковое оборудования с 2022 г. ежегодно растут, Китай снижает его закупки, рассчитывая на импортозамещение и увеличение выпуска китайского оборудования. Эта цель является приоритетной в программе достижения самодостаточности китайской отрасли. И в этом плане любые методы приемлемы. Даже введенное правило «50%», которое побуждает на каждую единицу приобретенного импортного оборудования приобрести одно китайское [21].

Гонка за нанометрами при известном фаворите

Всего один–два года назад в соревновании мировых технологических гигантов за первенство в гонке освоения самых передовых техпроцессов особой интриги не было. Компания Intel безуспешно боролась с большим количеством проблем и несмотря на заверения предыдущего ее руководства о планах освоения пяти техпроцессов за четыре года была больше озабочена собственным выживанием. Основная борьба происходила между TSMC и Samsung за первенство в сроках освоения и за заказы клиентов. Южнокорейский гигант поставил цель любой ценой первым освоить массовое производство 3-нм техпроцесса, а достижение лучших параметров продукции обеспечить, опередив TSMC, путем перехода с архитектуры FinFET на GAA GET. Выход годных чипов, себестоимость производства на этой стадии небыли известными, но именно они оказались проблемными для Samsung, и она проиграла эту гонку и борьбу за клиентов тайваньскому гиганту.

Похожий сценарий развивается и за освоение 2-нм технологии. Однако на этот раз основная информационная борьба идет между Intel и TSMC. Для американской корпорации принципиальным являлось первой отпартировать об освоении процесса Intel 18A, и она на несколько недель опередила TSMC [22]. В техпроцессе 18A используют

ся транзисторы Intel RibbonFET (разновидность GAA GET) и подача питания PowerVia с обратной стороны чипа – два технологических прорыва, реализованных одновременно (табл. 3) [23]. Их одновременное внедрение впервые в мире является несколько рискованным шагом. Как и случае противостояния с Samsung, TSMC не стала рисковать с внедрением питания с обратной стороны и разнесла эти новшества по разным технологиям. В первом техпроцессе N2E будет внедрена только архитектура GAA FET, а уже в следующих генерациях – GAA FET и подача питания с обратной стороны чипа.

Аналитики считают, что Intel 18A станет лидером отрасли с точки зрения производительности и энергоэффективности. Тем не менее, согласно сообщениям, N2 от TSMC обеспечит значительно более высокую плотность транзисторов высокой плотности (HD) стандартных ячеек (313 млн транз./мм²) в сравнении с Intel 18A (238 млн транз./мм²).

TSMC, начав крупносерийное производство по технологии N2 в IV кв. 2025 г., намеревается увеличить количество клиентской продукции и изделий для ЦОД в первой половине 2026 г. [24]. Еще в начале текущего года судьба Intel была не ясна, но приобретение правительством США 10% акций компании, а также инвестиции Nvidia, Softbank и заключение контракта с Microsoft по созданию и производству процессора ИИ по технологии Intel 18A значительно улучшили положение Intel на рынке. Однако, как и в случае с конкуренцией за заказы по 3-нм технологии, ключевым показателем станет выход годных. Стандартным требованием клиентов является показатель не менее 60–70% и TSMC его достигла. У Samsung выход годных составляет всего 30%, но, по неподтвержденным сведениям, к концу 2025 г. Samsung значительно его повысила. Информации по этому показателю у Intel пока нет, но, по неподтвержденным данным, на тестовой партии достигнут критически низкий показатель – всего 10%. Intel утверждает, что техпроцесс 18A станет отвечать отраслевым стандартам в начале 2027 г. Вероятно, выход годных к концу года увеличится до 15% [25]. По мнению автора этой статьи, именно *большой опыт предыдущих*

достижений, лучший выход годных и его воспроизводимость делают TSMC фаворитом этой гонки. Ее исторический опыт по их достижению в предыдущих технологиях вне конкуренции. Подтверждением тому являются сообщения, что производственные 2-нм мощности TSMC на двух заводах в Тайване распроданы на весь 2026 г. и достигнут 100 тыс. пластин в месяц [26].

Японская компания Rapidus, еще один формальный участник этой гонки, вследствие низкой производительности фабрики в своих задачах в большей мере ориентирована на внутренний рынок Японии и небольших клиентов. Выбранная ею модель сквозной индивидуальной, а не комбинации групповой и индивидуальной обработки пластин, как у трех конкурентов, дает шансы на достижение высокого выхода годных и позволяет осуществлять оперативный контроль над выходом на каждой пластине с возможностью корректировки параметров для следующих пластин. Однако при такой модели фабрика не в состоянии обеспечить ту же производительность, что у конкурентов. Rapidus заявила об успешном испытании тестовых пластин по 2-нм техпроцессу, но их результаты не публикует. Массовое производство намечено на 2027 г. [27]. Дизайн-киты для проектирования будут доступны клиентам в I кв. 2026 г.

Следующий 2026 г. в этом противостоянии будет интересным и определяющим.

Следует отметить одну важную особенность современного фаундри-производства чипов по самым передовым процессам. Более 10 лет назад такие исключительно контрактные компании как TSMC, GlobalFoundries, UMC занимались только технологиями и процессами производства чипов и пластин. Услуги сборки для клиентов они выполняли на условиях аутсорсинга в других специализированных сборочных компаниях. Однако усложнение технологий сборки сопровождалось интеграцией в них характерных для производства чипов техпроцессов по утонению пластин, фотолитографии, нанесению металлических слоев с формированием RDL, применением TSV-интерпозеров и т. д., а в последнее время технологий «пластина-на-пластине»,

Таблица 3. Сравнение параметров техпроцессов 2–3 нм Intel и TSMC

	Intel 18A и Intel 3	N3P и N3E	N2 и N3E	N2P и N3E
Потребляемая мощность	–25%	–5...–10%	–25...–30%	–36%
Производительность	15%	5%	10–15%	–18%
Относительная плотность транзисторов	1,3x	1,04x	1,15x	выше
Плотность транзисторов	238 млн тр./мм²	180–220 млн тр./мм²	313 млн тр./мм²	выше
Тип транзистора	GAA	FinFET	GAA	GAA
Технология подачи питания	с обратной стороны	слицевой стороны	слицевой стороны	слицевой стороны
Запуск массового производства	IV кв. 2025 г.	IV кв. 2024 г.	IV кв. 2025 г.	2-я половина 2026 г.

«чип-на-пластине», чиплетов, гетерогенной интеграции. Таким образом, именно передовые крупные производители чипов TSMC, Samsung, Intel стали интегрировать эти процессы и услуги сборки в свое производство, став законодателями стандартов новых сложных технологий 2,5–3D-сборки, за которыми тянутся специализированные сборочные компании. Именно эти три гиганта являются лидерами инвестиций в оборудование и технологии современной сборки. Эта тенденция сохранится и в ближайшие годы.

Выводы

1. Мировой полупроводниковый рынок в 2025 г. по прогнозу WSTS вырастет на 22,5% и достигнет 772 млрд долл. благодаря росту производства микросхем ИИ и памяти. Наблюдается неравномерное развитие по типам продукции и регионам.
2. Согласно прогнозам ассоциации WSTS, динамика роста мирового полупроводникового рынка в 2026 г. усилится, и его объем составит чуть менее 1 трлн долл., чему способствует продолжение бума ИИ. Однако эта зависимость рынка от ИИ делает его крайне уязвимым, если образующийся пузырь лопнет.
3. Северная Америка (США) является лидером роста рынка с долей 29,1% и основным бенефициаром регионализации, способствующим строительству на своей территории новых производственных мощностей, особенно использующих самые современные технологии изготовления чипов и сборки.
4. Европа вследствие бюрократических и инфраструктурных препятствий, разногласий внутри стран Евросоюза испытывает проблемы с принятием решений, исполнением принятых проектов и привлечением частных инвестиций. Это делает нереальным достижение стратегической цели: к 2030 г. удвоить долю Европы в мировом производстве чипов – с 10 до 20%.
5. Япония ведет сбалансированную техническую и экономическую политику по подъему национальной полупроводниковой отрасли, выделяя государственные инвестиции и привлекая ведущие мировые инновационные компании Imes, TSMC, IBM и др. для создания современных производств и внедрения передовых технологий. Однако в 2025 г. продолжается спад ее полупроводниковой отрасли.
6. Китай с размером инвестиций 145 млрд долл. с 2014 г. является мировым лидером по государственной поддержке национальной полупроводниковой отрасли, считая ее базовой для всей экономики страны.
7. В настоящее время власти Китая считают главной задачей импортозамещение

и достижение самообеспечения полупроводниковой микроэлектроники, без которых в нынешних условиях невозможно обеспечить национальную безопасность. Текущим приоритетом для реализации этой задачи считается разработка и производство собственного полупроводникового оборудования для замены импортного, от которого в значительной мере зависит китайская отрасль.

8. Ни одна из мировых стран в настоящее время не достигла самообеспечения своей полупроводниковой промышленности. В абсолютном смысле это недостижимая цель. Наиболее близкой к условному самообеспечению являются США, активно развивающие производства на своей территории.
9. Продолжается борьба за клиентов и освоение новых сложных 2-нм техпроцессов между компаниями TSMC, Intel и Samsung, каждая из которых использует свою стратегию, но фаворитом остается TSMC. ■

В части 4 этой статьи рассматриваются прогнозы мировых инвестиций в полупроводниковую отрасль, разнонаправленность текущего ценообразования полупроводников и проблемы дефицита микросхем памяти.

Литература

1. Боднар Д. Полупроводниковая микроэлектроника – 2025 г. Часть 1. Мировой рынок меняется, создает опасные тенденции и растет, но не для всех. Электронные компоненты. 2025. №10.
2. Global Semiconductor Market Approaches USD 1 Trillion in 2026. World Semiconductor Trade Statistics (WSTS). December 2. 2025 // www.wsts.org.
3. Europe's Semiconductor Plan Caught between Vision and Reality. EETimes Europe. September 11. 2025 // www.eetimes.eu.
4. Special Report 12/2025: The EU's Strategy for Microchips – Reasonable Progress in Its Implementation But the Chips Act Is Very Unlikely to Be Sufficient to Reach the Overly Ambitious Digital Decade Target. European Court of Auditors. April 28. 2025 // www.eca.europa.eu.
5. EU Member States back Chips Act 2.0. EeNews Europe. October 1. 2025 // www.eenewseurope.com.
6. State of the U. S. Semiconductor Industry 2025. Semiconductor Industry Association // www.semiconductors.org.
7. SIA Statement on Semiconductor Tariffs Announcement. Semiconductor Industry Association (SIA). August 07. 2025 // www.semiconductors.org.
8. Amkor Technology Breaks Ground on New Semiconductor Advanced Packaging and Test Campus in Arizona; Expands Investment to \$7 Billion. Amkor Technology. October 6. 2025 // www.amkor.com.

9. Japan's Strategic Comeback in the Global Chip Race. Report. Japan 2024.
10. Notice of the State Council on the Issuance of "Made in China 2025". May 19. 2015 // www.gov.cn.
11. Regional Industry Focus. China Semiconductor. DBS Group Research. June 2. 2025 // www.dbs.com.
12. Global Semiconductor Equipment Billings Surged to \$117 Billion in 2024. SEMI Reports. April 09. 2025 // www.semi.org.
13. China's Semiconductor Equipment Industry Booming, Self-Sufficiency to Reach 50% by 2025? TrendForce. February 14. 2025 // www.trendforce.com.
14. China Trials Its First Advanced Tools for AI Chipmaking. Financial Times. September 17. 2025 // www.ft.com.
15. Lithography Equipment. Shanghai Micro Electronics Equipment (Group) Co. // www.smee.com.cn.
16. Rumored Japan Photoresist Ban Sparks China's Worst Fears. Asia Times. November 27. 2025 // www.asiatimes.com.
17. China Boosts State-Led Chip Investment. The Economist Intelligence Unit Limited. March 13. 2024 // www.eiu.com.
18. China Is Pumping Another \$47.5 Billion into Its Chip Industry. CNN Business. May 28. 2024 // www.edition.cnn.com.
19. Китай тратит на помощь своей полупроводниковой промышленности больше, чем США и Европа вместе. 3DNews. 01.12.2024 // www.3dnews.ru.
20. Global Fab Equipment Investment Expected to Reach \$110 Billion in 2025. SEMI. March 25. 2025 // www.semi.org.
21. China Reportedly Promotes Domestic Chip Tool Adoption Under 50% Rule, Pressuring Korean Suppliers. TrendForce. December 15. 2025 // www.trendforce.com.
22. Intel 18A Gets Head Start on TSMC N2 with Fab 52 Ramp. TechPowerUp. October 13. 2025 // www.techpowerup.com.
23. Intel's 18A Production Starts before TSMC's Competing N2 Tech – Here's How The Two Process Nodes Compare. Tom's Hardware. October 10. 2025 // www.tomshardware.com.
24. TSMC Confirms N2P for 2H26, Joins A16 to Cement 2nm-Class as Major, Long-Lived Node. TrendForce. October 16. 2025 // www.trendforce.com.
25. The Panther Stalks: Intel's Panther Lake CPUs Set to Take off in Oregon, Company Reveals, and Cutting-Edge 18A Process Is on Track. Tom's Hardware. November 22. 2025 // www.tomshardware.com.
26. TSMC's 2nm Capacity Completely Sold out at Two Local Plants for 2026, Production Output Target at 100,000 Monthly Wafers by Next Year. WCCF TECH INC. October 13. 2025 // www.wccftech.com.
27. Rapidus Unveils 2nm Progress: Prototypes Begin, EUV Exposure Done 3 Months after Delivery. TrendForce. July 18. 2025 // www.trendforce.com.