

Полупроводниковая микроэлектроника – 2024 г.

Часть 4. Мировой рынок растет, военные технологии ускоряются, а список стран на замену Китая пополняется



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

Мировой рынок полупроводников в 2024 г. вырастет на 19% после спада в предыдущем году. Но как одна из самых рыночных мировых отраслей, несмотря на периодические спады каждые 4–5 лет, вызванные падением мировой экономики, полупроводниковый рынок регулярно достигает рекордных рубежей. Так, по прогнозам аналитиков, к 2030 и 2040 гг. ежегодные объемы этого рынка составят 1 и 2 трлн долл., соответственно. Санкции и планомерное блокирование Китая от использования новых технологий и инвестиций дают шанс азиатским странам и, в первую очередь, Индии с помощью иностранных инвестиций заменить Китай как главную мировую производственную экосистему. Количество стран, претендующих на эту роль, постоянно растет. Военные полупроводниковые технологии, ранее развивавшиеся в духе здорового консерватизма, вследствие роста мировой напряженности делают стремительный рывок на опережение к ультрасовременному уровню и созданию еще более умного орудия.

Введение

Автор понимает, что в статье ограниченного формата невозможно отразить и проанализировать все главные события мировой полупроводниковой отрасли за прошедший год. Поэтому, кроме оценки итогов мирового рынка, внимание уделяется некоторым техническим, политическим, экономическим аспектам, которые, по субъективному мнению автора, формируют важные тенденции развития мировой отрасли на длительный период. Именно этот подход используется в этой ежегодной серии итоговых статей.

Мировой рынок полупроводников

По данным международной ассоциации WSTS, мировой полупроводниковый рынок в 2024 г. вырастет на 19% в сравнении с предыдущим годом и достигнет почти 627 млрд долл. (табл. 1) [1]. Однако распределение и различие по типам продукции и регионам окажутся значительными. Во многом столь существенный рост будет достигнут за счет микросхем памяти, рынок которых вырастет на 81% до 167 млрд долл. Микросхемам памяти, как никакому другому типу полупроводниковых изделий, характерны большие циклические взлеты и падения производства. Текущий рост как раз происходит после двухлетнего падения в 2022 г. на 12,6% и на 28,9% в 2023 г., а также за счет сильного роста спроса на микросхемы памяти для искусственного интеллекта. Среди продукции лидером с объемом продаж 208 млрд долл. и ростом на 16,9% в 2024 г. остаются логические микросхемы. В то же время продажи дискретных, оптоэлект-

ронных и сенсорных полупроводников упадут, еще не полностью восстановившись после предыдущего 2023 г. Среди регионов значительный рост будет достигнут в Америке и Азиатско-Тихоокеанском регионе, а Европу и Японию затронут лишь небольшие изменения. Самый большой рост рынка в 2024 г. – на 38,9% – произойдет в США. В 2025 г. регион Америки останется мировым лидером роста на 15,4%. Принятые в США законодательные меры, стимулирующие внутреннее полупроводниковое производство, а также ограничение Китая начинают давать ожидаемый эффект и будут носить длительный характер для роста мировой доли США, особенно после введения в эксплуатацию заводов TSMC и Samsung в этой стране. У WSTS – оптимистичные прогнозы на 2025 г. Рост по всем типам продукции и регионам составит 11,2%, а общий объем рынка достигнет 697 млрд долл. Лидерами по-прежнему станут микросхемы логики и памяти с ростом 16,8 и 13,4%, соответственно.

Компания Gartner дает близкий к WSTS прогноз мирового рынка за период 2024–2025 гг. Согласно ее последнему отчету, мировая выручка от полупроводников в 2024 г. вырастет на 18,8% до 630 млрд долл., а в 2025 г. поднимется на 13,8% до 717 млрд долл. [2]. Рост обусловлен всплеском спроса на полупроводники для искусственного интеллекта. В ближайшей перспективе рынок памяти и графических процессоров (GPU) будет увеличивать доходы от полупроводников во всем мире. Ожидается, что объем доходов на мировом рынке памяти в 2025 г. вырастет на 20,5% и составит 196,3 млрд долл. Устойчивый дефицит предложения в 2024 г. приведет к росту цен на NAND-память на 60% в 2024 г., но в 2025 г. они могут снизиться на 3%. Ожидается, что в 2025 г. общая выручка от про-

Таблица. Прогноз роста мирового полупроводникового рынка на 2023–2025 от ассоциации WSTS

Осень 2024 г.	Сумма, млн долл.			Рост год-к-году, %		
	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Северная и Южная Америка	134 377	186 635	215 309	-4,8	38,9	15,4
Европа	55 763	52 031	53 736	3,5	-6,7	3,3
Япония	46 751	47 410	51 866	-2,9	1,4	9,4
Азиатско-Тихоокеанский регион	289 994	340 792	376 273	-12,4	17,5	10,4
Итого по мировому рынку, млн долл.	526 885	626 869	697 184	-8,2	19,0	11,2
Дискретные полупроводники	35 530	31 546	33 377	4,5	-11,2	5,8
Оптоэлектроника	43 184	42 092	43 705	-1,6	-2,5	3,8
Сенсоры	19 730	18 732	20 034	-9,4	-5,1	7,0
Интегральные микросхемы	428 442	534 499	600 069	-9,7	24,8	12,3
аналоговые	81 225	79 433	83 157	-8,7	-2,2	4,7
микроконтроллеры	76 340	79 291	83 723	-3,5	3,9	5,6
логика	178 589	208 723	243 782	1,1	16,9	16,8
память	92 288	167 053	189 407	-28,9	81,0	13,4
Итого по изделиям, млн долл.	526 885	626 869	697 184	-8,2	19,0	11,2

Примечание. Цифры в таблице округлены до полных млн долл., вследствие чего может возникнуть незначительная разница между строкой «Итого по мировому рынку» и «Итого по изделиям».

даж флэш-памяти NAND составит 75,5 млрд долл., что на 12% больше, чем в 2024 г. Спрос и предложение памяти DRAM восстановятся в том числе благодаря беспрецедентному росту производства памяти с высокой пропускной способностью (HBM), а также росту цен на DDR5 с двойной скоростью передачи данных. В целом, прогнозируется, что выручка от продажи памяти DRAM составит 115,6 млрд долл. в 2025 г. по сравнению с 90,1 млрд долл. в 2024 г. Ожидается, что выручка памяти HBM увеличится более чем на 284% в 2024 г. и на 70% в 2025 г., достигнув 12,3 и 21 млрд долл., соответственно.

Специалисты уже заглядывают за горизонт 2030 г. до 2040 г. Их прогнозы определяют срок, когда мировая отрасль достиг-

нет рубежей в 1 и 2 трлн долл. Согласно анализу компании McKinsey, основанному на ряде макроэкономических предположений, совокупный годовой рост отрасли составит в среднем 6–8% до 2030 г. и достигнет 1 трлн долл. за счет новых разработок в сферах ИИ, 5G, квантовых вычислений, промышленной автоматизации и пр. (рис. 1) [3]. Прогнозируется, что около 70% роста будет обеспечено всего тремя отраслями: автомобилестроением, вычислениями и хранением данных, а также беспроводной связью. Наиболее быстрорастущим сегментом, вероятно, станет автомобильная промышленность, где произойдет утроение спроса, подпитываемого такими приложениями как автономное вождение и электромобили.

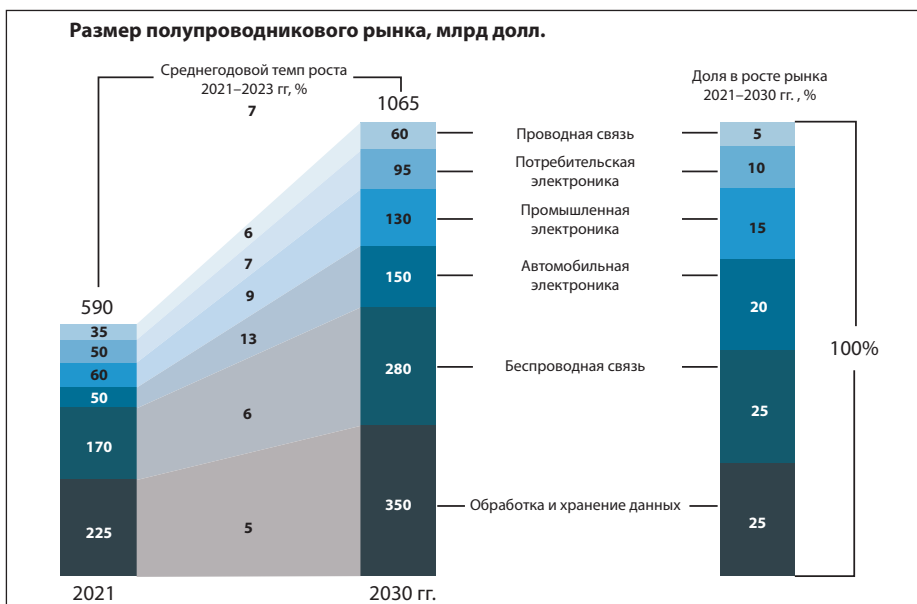


Рис. 1. Прогноз роста мирового полупроводникового рынка до 2030 г. по сферам применения от компании McKinsey

Стоимость полупроводникового содержимого в автомобиле SAE Level 4 с электрической трансмиссией в 2030 г. составит около 4000 долл. по сравнению с 500 долл. в автомобиле SAE Level 1 с двигателем внутреннего сгорания. Доля автомобильной промышленности на полупроводниковом рынке, составившая всего 8% в 2021 г., к концу десятилетия может увеличиться до 13–15%. Таким образом, этот сегмент обеспечит 20%-ый прирост отрасли в ближайшие годы.

Глава SEMI Аджит Маноча (Ajit Manocha) тоже считает, что ежегодного оборота в 1 трлн долл. мировая отрасль достигнет к началу следующего десятилетия, а на удвоение показателя потребуются еще 10 лет до 2040 г. [4]. Диверсификация сфер применения чипов, по мнению Маночы, смягчает фазу падения внутриотраслевых циклов. Периоды кризиса становятся менее продолжительными, а их глубина уменьшается, поскольку разные ниши рынка уравновешивают друг друга. Глава SEMI считает, что в ближайшие 6–8 лет основными драйверами роста станут системы искусственного интеллекта и интернет вещей, а в следующем десятилетии отрасль будет двигать вперед сфера квантовых вычислений.

Мировые поставки кремниевых пластин снизятся на 2% в 2024 г. до 12 174 млн кв. дюймов (MSI), но в 2025 г. спрос на пластины начнет восстанавливаться и вырастет на 9,5%, достигнув 13 328 кв. дюймов, сообщает SEMI (рис. 2) [5]. Ожидается, что заметный рост поставок кремниевых пластин сохранится до 2027 г., связанный с искусственным интеллектом и новыми областями применения в производстве 2,5/3D-корпусов и памяти с высокой пропускной способностью (HBM).

Аналитики TrendForce полагают, что в текущем году выручка контрактных производителей чипов вырастет на 16% после прошлогоднего падения на 14% (рис. 3) [6]. В 2025 г. рост выручки контрактных производителей чипов превысит 20% за счет бума систем ИИ. В 2024 г. степень загрузки оборудования на линиях по выпуску не самых передовых чипов опустилась ниже 80%, а по зрелым процессам в большинстве случаев не превышает 60%, что нельзя считать оптимальным уровнем с экономической точки зрения. Только линии по выпуску чипов с использованием техпроцессов 5–3 нм были загружены полностью. Такое положение дел сохранится и в следующем году. Однако автор статьи отмечает неоднозначность этого вывода, больше соответствующего положению дел в компании TSMC. Так, например, компания Samsung в условиях невысокого спроса приостановила около 30% линий по выпуску 7/5/3-нм чипов на предприятиях компании в южнокорейском Пхэнтхэке, а к концу года эту долю планируется довести до 50% [7]. Консервация будет выполнена за счет уплотнения производства на других линиях.

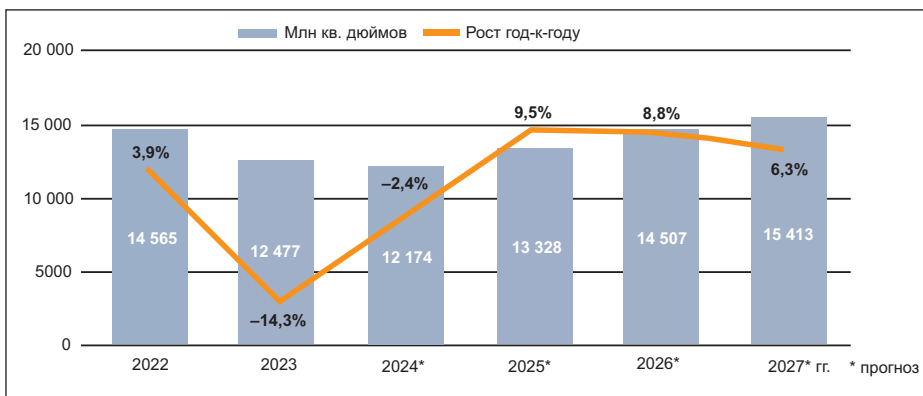


Рис. 2. Мировой рынок кремниевых пластин 2022–2027 гг. от SEMI

По мнению TrendForce, в 2025 г. 3-нм техпроцесс станет основным в выпуске передовых вычислительных компонентов, включая центральные процессоры для ПК и смартфонов, а производство чипов ускорителей вычислений по-прежнему будет использовать 5-и 4-нм техпроцессы. Ко второму полугодю начнет расти спрос на 6-и 7-нм чипы для смартфонов, работающих в беспроводных сетях связи. По прогнозу TrendForce, в 2025 г. диапазон техпроцессов 7–3 нм будет формировать до 45% выручки контрактных производителей чипов по всему миру.

Ассоциация SIA прогнозирует, что в период с 2022 по 2032 г. США увеличат свои производственные мощности по чипам на 203% (по сравнению с ростом всего на 11% в период с 2012 по 2022 гг.) [8]. Доля США в мировых мощностях по производству чипов увеличится с 10% в 2022 г. до 14% к 2032 г. Если бы «Закон о чипах» не был принят, доля США снизилась бы до 8% к 2032 г. До этого времени США увеличат свою долю производства передовой логики (ниже 10 нм) до 28% от мировых мощностей в сравнении с 0% в 2022 г.

Индия, Малайзия, Вьетнам выходят из полупроводниковой тени Китая, но у них появляются конкуренты

В прошлогоднем итоговом обзоре по развитию мировой полупроводниковой отрасли в 2023 г. автор отмечал, что Индия уже более 10 лет пытается повторить путь Китая по развитию микроэлектроники и привлечению зарубежных инвестиций, технологий и созданию новых производств [9]. Однако такое развитие требовало не только инвестиций, но и создания многопрофильной экосреды с ростом собственного рынка потребления, сервисов, организации производства не только полупроводниковой, но и большого количества сопутствующей продукции и материалов. И только в текущем году на фоне жесткого противостояния США и Китая, а также непрекращающихся санкционных войн частный капитал повернулся лицом к Индии. Автор отмечал, что Индия является лучшим

кандидатом для создания производственной альтернативы Китаю. Если этот процесс пойдет по нарастающей, Индия сможет существенно сократить путь, по которому продвигался Китай в 2000–2020 гг. Пока для этого имеются все основания. Зарубежные инвестиции направляются в разные полупроводниковые сферы, а правительство Индии по примеру передовых стран выделяет большие государственные инвестиции, субсидии национальным и зарубежным компаниям, запускающим строительство новых производств в стране.

Индийская компания Tata Electronics совместно с тайваньской PSMC создает первое в стране предприятие по производству 300-мм полупроводниковых пластин с чипами в Дхолере (шт. Гуджарат). Этот завод мощностью 50 тыс. пластин в месяц предполагает инвестиции в размере 10,8 млрд долл. [10]. Ожидается, что первые чипы с завода в Дхолере поступят в продажу в декабре 2026 г. Эта же компания начала строительство завода по сборке чипов стоимостью 3,2 млрд долл. в Индии, который ежедневно будет производить более 48 млн чипов с использованием собственных технологий. Tata Electronics и Tokyo Electron Limited (TEL)

подписали меморандум с целью ускорения разработки полупроводникового оборудования в Индии [11]. Это партнерство будет поддерживать новый завод по производству полупроводников Tata Electronics в Дхолере, а также сборочное и испытательное предприятие в Джагираоде (шт. Ассам). Ожидается, что проект в восточном штате Ассам будет введен в эксплуатацию в 2025 г. и поспособствует созданию 27 тыс. рабочих мест. Заводы в Ассаме и Дхолере являются двумя из трех предложений по полупроводниковым заводам, одобренных правительством Индии в феврале текущего года. Их ориентировочная стоимость составляет 15 млрд долл. Третий завод также будет построен в Гуджарате.

Особо следует отметить, что с индийской стороны этими проектами занимается многопрофильный индийский гигант Tata Group, входящий в список 11 компаний с самым высоким уровнем репутации в мире. Две трети своих доходов он получает за пределами Индии [12]. Tata Group владеет торговыми марками Jaguar, Ford, Land Rover и т. д. Репутация этого гиганта – лучшая гарантия того, что проекты будут реализованы без срывов, а их количество увеличится. Очевидно, что, разворачивая широкомасштабную инвестиционную активность в полупроводниковом секторе страны и покупая компании по сборке айфонов и выпуску электромобилей, частный гигант Tata Group делает своей стратегической задачей на ближайшие десятилетия развитие электронной и автомобильной промышленности Индии. Подобного частного крупного инвестора не было на начальном этапе развития китайской полупроводниковой отрасли, где основными были зарубежные и госинвестиции Китая, и его нет на протяжении всех последних 35 лет в российской электронной промышленности. Эффективное взаимодействие правительства и крупного частного бизнеса позволит Индии в сравнении

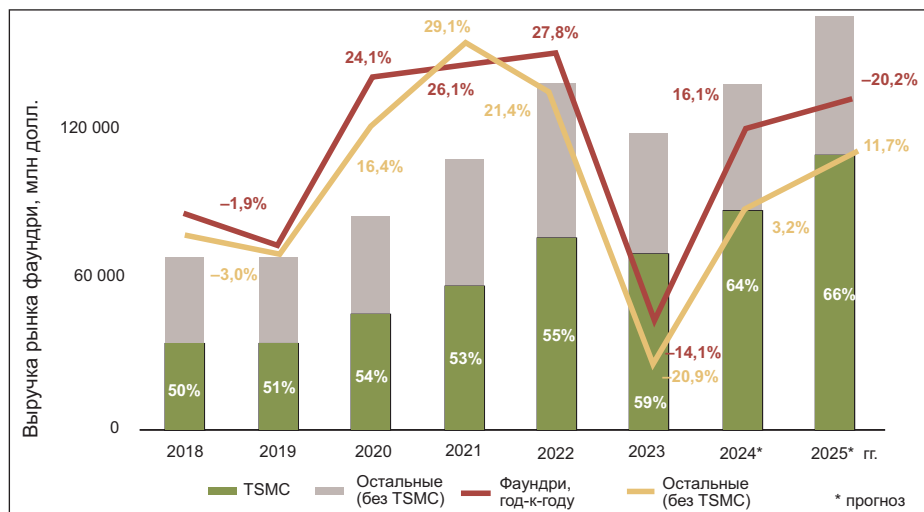


Рис. 3. Мировой рынок контрактного производства пластин с чипами 2018–2025 гг. от TrendForce

с Китаем значительно сократить сроки подъема национальной полупроводниковой отрасли.

В сентябре 2024 г. президент США Байден и премьер Индии Моди подписали соглашение о строительстве в Индии завода по производству микросхем, который будет производить передовые сенсорные, коммуникационные и силовые электронные устройства для национальной безопасности, телекоммуникаций следующего поколения и приложений в области зеленой энергетики [13]. Фабрика будет выпускать инфракрасные, GaN- и SiC-чипы при поддержке Индийской миссии по полупроводникам, а также в рамках партнерства между Индийским центром полупроводниковых исследований, индийским разработчиком микросхем 3rdiTech и Космическими силами США.

В опубликованном заявлении Белого дома не раскрываются инвестиционные партнерства или дополнительные подробности о местоположении объекта, но то, что эти изделия будут предназначены для обеспечения национальной безопасности двух стран, говорит о многом.

Американская компания Analog Devices (ADI) и индийская Tata Group подписали соглашение о наращивании производства полупроводниковой продукции в Индии для электромобилей и сетевой инфраструктуры [14]. ASMP от Сингапура объединяется с Tata Electronics для обучения персонала, развития сервисной инженерной инфраструктуры, автоматизации, обеспечения запасных частей и стимулирования инициатив в области проводной связи, технологии flip-chip, передовой и интегрированной системной сборки [15].

Несколько лет назад правительство Индии пыталось привлечь израильскую компанию Tower Semiconductor к строительству современного завода для производства пластин с чипами, но Tower по разным причинам откладывала проект. В 2024 г. процесс был запущен с помощью индийской компании Adani Group в шт. Махараштра при общей стоимости 10 млрд долл. [16]. Ранее в июне 2023 г. центральное правительство одобрило первый проект по созданию полупроводникового подразделения в Сананде (шт. Гуджарат) американского гиганта микросхем памяти Micron стоимостью 2,7 млрд долл. [17].

Европейская компания NXP имеет давние связи с Индией, где создано несколько дизайн-центров, в которых работает около 3000 человек. NXP планирует увеличить свое участие в исследованиях и разработках в Индии, намереваясь инвестировать в страну более 1 млрд долл. в течение нескольких лет [18].

Помимо полупроводникового проекта, правительство шт. Махараштра одобрило инвестиции Skoda Auto Volkswagen India Company в размере около 1,4 млрд долл. в Пуне для нового завода по производству

электромобилей и план Toyota Kirloskar Motor Company по созданию подразделения для производства электромобилей в Чхатрапати Самбхаджинагар с инвестициями в размере около 2,5 млрд долл. [19]. Индийский рынок электромобилей может вырасти до 120 млрд долл. к 2030 г. [20], и этим заводам потребуются полупроводниковые компоненты.

Правительство Индии одобрило еще один проект – завод по сборке чипов стоимостью 916 млн долл., который будет управляться японской Renesas Electronics, тайландской Stars Microelectronics и индийской компанией CG Power и расположится в Гуджарате [21]. Завод с ежедневной производственной мощностью 15 млн чипов будет производить специализированные чипы для нишевых секторов, таких как оборона, космос, электромобили и высокоскоростные поезда.

Индийский конгломерат Larsen & Toubro, интересы которого простираются от технологий до строительства, потратит 300 млн долл. в течение трех лет на создание fabless-компании, которая разрабатывает и продает чипы, но на их производство заключает контракты со специализированными производителями [22]. Компания планирует объединить усилия с другими бизнес-группами в Индии, заключить контракты на 15 продуктов до конца 2024 г. и начать их продажи в 2027 г. L&T Semiconductor Technologies объявила о сотрудничестве с IBM в области исследований и разработок для разработки передовых процессоров.

К 2026 г. полупроводниковый сектор Индии планирует создать 1 млн рабочих мест в разных секторах. Среди них – около 300 тыс. рабочих мест для производства полупроводниковых микросхем, 200 тыс. должностей в АТМР (сборка, тестирование, маркировка и упаковка), а также дополнительные должности для проектирования микросхем, разработки программного обеспечения, системных схем и управления производственной цепочкой поставок [23]. Объем рынка полупроводников Индии оценивался в 29,84 млрд долл. в 2023 г. Ожидается, что к 2031 г. он достигнет 79,20 млрд долл.; при этом совокупный годовой темп роста (CAGR) составит 13,55% в течение прогнозируемого периода с 2024 по 2031 г.

В сентябре в Индии состоялось мероприятие, которое даже по мировым меркам является беспрецедентным – на встречу с премьер-министром Нарендрой Моди прилетели руководители мировых полупроводниковых компаний, которых вместе и сразу всех невозможно было увидеть ранее. На встрече присутствовали главы компаний NXP, Imec, Synopsys, Cadence Design Systems, Infineon Technologies, Micron Technology, Tower Semiconductor, Rapidus, Advantest, Applied Materials, Lam Research, Tokyo Electron и многих других [24]. Некоторые из них прилетели всего на несколько часов на круглый

стол с премьер-министром и инаугурацию Semicon India 2024. Как отметил генеральный директор SEMI Аджит Маноча, он не видел такой встречи за 40 с лишним лет работы в отрасли. Это мероприятие показало, что Индия вышла на передний план как главный претендент на замену Китая в мировой полупроводниковой экосистеме. Предстоит длинный путь, но старт дан, и фаворит на роль нового азиатского полупроводникового дракона назначен.

Однако это не означает, что у других участников этого соревнования нет шансов.

Власти Малайзии планируют потратить гигантскую сумму в 107 млрд долл. на превращение страны в мощный международный хаб по разработке, производству и тестированию передовых интегральных микросхем [25]. Страна позиционирует себя в качестве нейтральной площадки, готовой способствовать технологическому сотрудничеству компаний из самых разных стран. Малайзийская инициатива крайне амбициозна, ее бюджет огромен. Совокупный размер средств, которые власти Малайзии намерены инвестировать в рамках обозначенного плана, превышает бюджеты программ США и ЕС по поддержке производства микросхем вместе взятых. Программа CHIPS Act, реализуемая в США, предусматривает выделение 52 млрд долл., европейская European Chips Act – 47 млрд долл. Национальная стратегия в сфере полупроводников (National Semiconductor Strategy, NSS) предусматривает создание на территории Малайзии 10 компаний, занятых разработкой и производством передовых ИС. Согласно плану, годовая выручка каждой из них будет варьироваться в диапазоне от 210 млн до 1 млрд долл. Кроме того, стратегия предполагает появление 100 «вспомогательных» компаний с выручкой до 210 млн долл., которые тем или иным образом связаны с индустрией полупроводников. Инвестиции в экономику Малайзии благодаря популярности страны среди технологических компаний всего мира, пожелавших «застраховать» свой бизнес от геополитических потрясений, стремительно растут. Так, в 2023 г. эти предприятия вложили в развитие своего местного бизнеса суммарно около 12,8 млрд долл., и это именно прямые иностранные инвестиции [26]. Их объем больше всех их инвестиций за период с 2013 по 2022 г. включительно. Однако автор статьи обращает внимание на избыточный оптимизм малайзийских властей, уповаящих на нейтральный статус национальной отрасли. Многие передовые полупроводниковые компании, базирующиеся свои предприятия в Малайзии, имеют американскую и европейскую прописку, а чисто малайзийские используют оборудование и технологии США. Это значит, что они будут вынуждены подчиняться санкциям США в отношении Китая и России, а при их нарушении конфликт неизбежен.

Юго-Восточная Азия давно стала мировым полупроводниковым центром. Около 5 лет назад к нему стал приближаться и Вьетнам, привлекая инвестиции крупнейших мировых компаний. Вьетнам определил полупроводники как один из девяти продуктов национального уровня и включил этот сектор в список ключевых отраслей для национального развития на ближайшие 30–50 лет. Правительство Вьетнама приняло стратегию развития отрасли с краткосрочными целями до 2030 г. и долгосрочными прогнозами до 2050 г. [27]. До 2030 г. намечено создание не менее 100 проектных компаний, одного завода по производству чипов и 10 сборочных и испытательных центров. Стратегия также включает разработку специализированных полупроводниковых продуктов для отраслей промышленности, что обеспечит годовой доход полупроводниковой промышленности в размере более 25 млрд долл. с добавленной стоимостью 10–15%. В 2030–2040 гг. планируется создать не менее 200 проектных компаний, два завода по производству полупроводниковых микросхем и 15 предприятий по сборке и тестированию. Страна постепенно достигнет независимости в разработке и производстве специализированной полупроводниковой продукции, годовой доход полупроводниковой промышленности превысит 50 млрд долл., а доля добавленной стоимости составит 15–20%. Прогнозируется, что годовой доход электронной промышленности превысит 485 млрд долл., а доля добавленной стоимости составит 15–20%. Ожидается, что в полупроводниковой промышленности будет работать более 100 тыс. инженеров и выпускников вузов, а структура будет соответствовать потребностям развития. В 2040–2050 гг. намечено создать не менее 300 проектных компаний, три завода по производству полупроводниковых чипов и 20 предприятий по сборке и тестированию.

Все три упомянутые страны отчетливо понимают, что уже несколько лет назад Китай перестал быть мировым инвестиционным «пылесосом» и непрерывно увеличивающиеся санкции США надолго отрезают его не только от передовых технологий, но и от новых проектов с мировыми компаниями. Эти страны имеют хорошие шансы получить свою долю в азиатской полупроводниковой экосистеме.

Еще две азиатские страны объявили о национальных планах по развитию полупроводниковой промышленности. Пакистан и Индонезия намерены развивать экосистему с целью создания благоприятного делового климата и привлекать инвестиции от зарубежных фирм по производству микросхем [28]. Особенно экзотичным выглядит инициатива Саудовской Аравии, которая намеревалась в текущем году вложить крупную сумму в развитие полупроводниковой промышленности, а к 2040 г. стать лидером мировой ави-

космической отрасли [29]. Национальная авиакосмическая компания будет создана путем поглощения одного из существующих игроков рынка. В настоящее время под управлением Суверенного фонда Саудовской Аравии уже находится около 700 млрд долл., а к 2025 г. его капитал предполагается увеличить до 1 трлн долл. Можно по-разному относиться к инициативе Саудовской Аравии, но следует обратить внимание на совершенно другой механизм инвестирования. Прежде заинтересованные страны искали инвесторов с деньгами и технологиями, готовых вложить свои средства и запустить новые производства на территории этих стран. Саудовцы же хотят найти подрядчика, способного все это сделать, а таких найдется немало. Учитывая умение Саудовской Аравии и ОАЭ создавать чудеса за нефтяные деньги, идея не кажется безумной. Как бы экзотически и неправдоподобно выглядела эта инициатива, но наличие громадных собственных денежных активов является весомым фактором в возможности реализации такого проекта в течение ближайших 10 лет.

Гораздо более интересными являются планы ОАЭ. Наличие больших нефтяных доходов и желание уйти от нефтяной зависимости играют ключевую роль в стремлении ОАЭ стать региональным центром и испытательным полигоном для искусственно-го интеллекта. С этой целью арабы готовы привлечь компании TSMC и Samsung к строительству заводов по производству чипов в Абу-Даби. Примечательно, что финансирование в 100 млрд долл. может выполнять компания Mubadala, являющаяся мажоритарным владельцем фабрики GlobalFoundries [30]. Сообщается, что высшее руководство TSMC и Samsung недавно посетило ОАЭ, чтобы обсудить планы по строительству производственного комплекса наравне с самыми передовыми объектами технологических гигантов на Тайване и в США [31]. Не лишним будет вспомнить, что компания Mubadala уже намеревалась несколько лет назад построить в ОАЭ новый завод по производству чипов для GlobalFoundries [32]. Так что новое – это хорошо забытое старое.

Поиск полупроводниковой альтернативы Китаю как глобальной мировой кремниевой фабрике очевиден, и реализация этого плана станет долгосрочной стратегией США на ближайшее десятилетие. Япония рассматривается как страховка Тайваня, а не как альтернатива Китаю. Видно, что желающих составить конкуренцию Индии, Малайзии и Вьетнаму хватает. Полупроводниковая микроэлектроника давно стала, в первую очередь, не средством обеспечения национальной безопасности, а поплавающей отраслью, способной поднять экономику любого государства и удерживать ее на должном уровне многие годы. Не видеть этого невозможно. По этой причине страны с разным уровнем развития экономики стремятся использовать

все возможности и шансы, которые им предоставляет текущее время.

Военная микроэлектроника делает три шага навстречу суперсовременным технологиям

С 2022 г. четко обозначилась тенденция к росту военных расходов, а в мировой полупроводниковой отрасли – к увеличению использования самых новых техпроцессов для создания военного оборудования. Судя по всему, это долгосрочный тренд, который может продлиться не одно десятилетие. До 2022 г. военной полупроводниковой микроэлектронике был присущ здоровый консерватизм, когда для создания такой продукции применялись технологии, давно апробированные на гражданских изделиях. Даже зрелые техпроцессы по нормам 12–45 нм, уже многие годы используемые для изделий гражданского рынка, мало применялись при создании полупроводников для военных нужд. Гражданские изделия опережали военные на три и более технологических поколения [33]. Однако рост напряженности и количества мировых военных конфликтов привели к увеличению военных бюджетов не только передовых стран, но и тех, которые прежде придерживались нейтрального статуса. С приходом к власти Дональда Трампа, полагающего, что Европа и Тайвань должны платить за оборону как в рамках НАТО, так и во внеблоковом статусе, неминуем новый рост военных расходов. Кроме того, характер военных конфликтов изменился, и боевые действия ведутся с использованием все более умного оружия. В этой роли полупроводниковая микроэлектроника является главным инструментом. Несколько лет тому назад автор предсказывал ускорение и увеличение потребности в новых полупроводниковых технологиях для создания умного оружия [34]. Фактически это происходит даже быстрее, чем прогнозировалось, а многие крупные компании, которые прежде не очень охотно брали военные заказы, теперь делают их приоритетными. С учетом изменившихся условий можно было предположить, что военная микроэлектроника начнет применять самые передовые гражданские технологии 7/5/3 нм для своих изделий. На самом деле, этот процесс пошел еще дальше. В настоящее время целью является создание сложнейших военных микросхем с использованием суперсовременных технологий производства чипов и сборки, даже еще не освоенных в производстве, а находящихся в разработке. Военные технологии делают три шага вперед на опережение, чего не наблюдалось прежде в этом сегменте.

Ярким подтверждением данной тенденции является американская компания Draper Laboratory. К 2027 г. она планирует поставлять чипы, изготовленные по еще только осваиваемому техпроцессу Intel 18A, кото-

рые будут корпусированы вместе с чиплетами других американских поставщиков [35]. Компания планирует, что эта продукция может Министерству обороны возобновить использование передовых чипов в таком оружии как ракеты и другие гиперзвуковые системы. В июле 2024 г. компания открыла завод Draper Advanced Packaging Facility в Сент-Питерсберге (шт. Флорида), чтобы ускорить разработку и производство чипов, которые на 100% базируются в США. Компания сотрудничает с Intel Foundry Services (IFS) в рамках альянса U. S. Military, Aerospace and Government (USMAG) для предоставления комплекта проектирования (PDK) по техпроцессу Intel 18A университетам и стартапам, которые в противном случае не имели бы доступа к передовой технологии. Помимо Intel, Draper работает с GlobalFoundries, Honeywell, Texas Instruments и другими поставщиками чипов. У Draper растет список коммерческих клиентов, что позволяет правительству сократить общие затраты. Компания специализируется на радиационно-стойких технологиях, безопасной микроэлектронике и передовом корпусировании. Draper также стремится получить часть субсидий в размере 1,6 млрд долл. в рамках «Закона о чипах».

Министерство обороны США также привлекает университеты для создания новых военных изделий. В июле DARPA выделило Техасскому университету 840 млн долл. на строительство завода по производству полупроводников, который станет поставщиком Министерства обороны в рамках инициативы по возрождению электроники (ERI) [36]. Объекты в Техасе будут открыты для промышленности, научных кругов и правительства и станут создавать продукцию, поддерживающую оборонный сектор и полупроводниковую промышленность, в том числе стартапы. DARPA намеревается создать передовой центр исследований и разработок и прототипирования, подобный бельгийскому Imec, который является для нее ориентиром.

Крупные компании и чипмейкеры также пересмотрели свое участие в военных программах и заказах. Показательным является тактика Intel, ранее не проявлявшей интереса к такой деятельности. Компания удалось согласовать с властями США выделение 3,5 млрд долл. субсидий на организацию производства передовых чипов и их сборки для систем оборонного назначения [37].

Военная компания BAE Systems и чипмейкер GlobalFoundries заявили о сотрудничестве с целью увеличения внутреннего производства и сборки радиационно-стойких изделий для нужд авиакосмической и оборонной промышленности [38]. BAE и GlobalFoundries будут согласовывать технологические дорожные карты, объединять долгосрочное планирование новых технологий, сотрудничать в области исследований и разработок. Основное внимание будет уделено передовой сборке и интеграции полупроводников,

чипам из нитрида галлия на кремнии, кремниевой фотонике и разработке передовых технологий. Обе компании уже сотрудничают: недавно BAE Systems использовала технологические платформы GF 12LP и 12S0 для создания специализированных радиационно-стойких полупроводниковых решений для чувствительных космических приложений. Ранее GlobalFoundries провела сертификацию своего производства для выпуска военной продукции [39]. Управление по оборонной микроэлектронике США (DMEA) заключило с IBM 10-летний оборонный контракт на сумму 576 млн долл. [40], который предусматривает не только выпуск военной продукции на производственных мощностях IBM в Берлингтоне (шт. Вермонт), Ист-Фишкилле, Мальте (Нью-Йорк) и Бромонте (Канада), но и консультирование DMEA по вопросам приобретения гражданской продукции других производителей для ее применения в военной микроэлектронике. Обращает на себя внимание увеличение расходов на радиационно-стойкую электронику не столько для космического, сколько для военного применения, что связано с возросшим риском ядерной войны.

В Европе также растут объемы военных полупроводниковых заказов. Такие крупные компании как STM, Infineon являются их основными бенефициарами. Правительство Великобритании купило у американской компании Coherent завод в Ньютон-Эйклиффе на севере Англии, который является единственным отечественным производителем полупроводников из арсенида галлия для военных истребителей [41]. Заводу, который в течение последних 12 мес. испытывал трудности после потери коммерческих контрактов, грозило банкротство. Едва ли правительство сделало бы этот шаг 5–10 лет назад в других международных условиях.

По данным Стокгольмского международного института исследований проблем мира, в реальном выражении мировые военные расходы увеличились на 3,7% в 2022 г. до рекордных 2240 млрд долл. и выросли на 19% в период с 2013 по 2022 гг. В 2023 г. военные расходы в Европе выросли на 13%, что стало самым большим годовым ростом общих европейских расходов с момента окончания холодной войны [42]. С точки зрения выручки, объем мирового рынка авиакосмической и оборонной промышленности в 2022 г. оценивался примерно в 750 млрд долл., а к 2030 г., по прогнозам, достигнет 1388 млрд долл. со среднегодовыми темпами роста 8,2% (рис. 4). По субъективному мнению автора статьи, эти прогнозы консервативные и не учитывают роста военных конфликтов в 2024 г. в Европе, на Ближнем Востоке, в Азии, Африке и увеличения военных бюджетов всех стран в ближайшие годы. Это значит, что темпы роста военных расходов, скорее всего, будут выше.

Объем рынка полупроводников в военной и авиакосмической отраслях в 2022 г. оценивался в 5812,0 млн долл. Прогнозировалось, что рынок полупроводников в этих отраслях вырастет с 6032,8 млн долл. в 2023 г. до 12016,8 млн долл. к 2030 г. при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 9,5% за период 2023–2030 гг. [43]. Рост беспилотных систем, таких как дроны и автономные транспортные средства, которые требуют передовых полупроводниковых технологий, обеспечения средств радиоэлектронной борьбы и кибербезопасности, обуславливает потребность в передовых решениях на основе полупроводников. Потребность в усовершенствованных электронных системах связана с усложнением средств современной войны, где электронные системы играют решающую роль в коммуникациях, разведке и целеуказании.

Одной из важнейших тенденций на этом рынке является использование технологий высокопроизводительных вычислений для военных и авиакосмических приложений. Использование таких технологий позволяет создавать более совершенные электронные системы, способные быстро и точно обрабатывать огромные объемы данных в режиме реального времени, что имеет решающее значение в условиях современной войны для эффективного принятия решений. Еще одна ключевая разработка на этом рынке – использование технологий искусственного интеллекта и машинного обучения. Эти технологии позволяют создавать интеллектуальные электронные системы, способные автономно выявлять угрозы и реагировать на них, что особенно важно в авиакосмической отрасли, где автономные системы могут снизить риск человеческой ошибки и повысить безопасность. В последнее время наблюдается значительный спрос на полупроводниковые технологии в военной и авиакосмической отраслях, который обусловлен растущим значением электронных систем в современной войне, а также внедрением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и других автономных систем.

Сегментация рынка полупроводников в военной и авиакосмической отраслях основана на компонентах, датчиках и исполнительных механизмах, оптике, памяти, микроконтроллерах, логических и дискретных устройствах питания и других. В 2022 г. сегмент памяти занимал основную долю в сфере полупроводников на военном и авиакосмическом рынках. Эти компоненты используются для хранения и извлечения данных в таких системах как навигация, связь и сенсорные системы. Радиочастотные системы доминировали в вырубке рынка полупроводников в военной и авиакосмической отраслях в 2023 г. и, по прогнозам, будут самыми быстрорастущими сегментами в 2023–2030 гг., что обусловлено ростом спроса на БПЛА, передовые системы

противоракетной обороны и другие критически важные военные и авиакосмические приложения, создаваемые с помощью высокопроизводительных полупроводниковых технологий.

Помимо современных и сложных микросхем, необходимых для применения во всех упомянутых сложных военных системах, имеется большая потребность в дискретных полупроводниках. Логические микросхемы и дискретные мощные полупроводники силовой электроники являются следующей после микросхем памяти категорией наиболее востребованных изделий для военного и авиакосмического применения (рис. 5). И главной тенденцией для них станет увеличение применения изделий на основе новых широкозонных полупроводников и, в первую очередь, нитрида галлия, позволяющих значительно повысить радиационную стойкость, энергоэффективность, автономность и скорость обработки сигналов военных систем. Керамические корпуса продолжают доминирование особенно в авиакосмическом секторе, но с превалированием исполнения для поверхностного монтажа.

Милитаризация мировой полупроводниковой отрасли, особенно в передовых странах, вследствие роста мировой напряженности, очевидна. И хотя из-за громадного и растущего гражданского рынка доля военной продукции в мировом полупроводниковом производстве не растет, во всем самом современном умном вооружении будут применяться новейшие достижения микроэлектроники, а в некоторых видах оружия даже раньше в режиме ожидания, чем в гражданском секторе. Такой тенденции не было в последние 50 лет. А это значит, что в ближайшие 10 лет разрыв в качестве вооружения между странами увеличится в еще большей мере в пользу стран с самой современной микроэлектроникой.

Санкционные и торговые войны США и Китая расширяются

Похоже, взаимные санкционные ограничения между США и Китаем прекратятся не скоро и их интенсивность только возрастает. Очевидно, что санкционная полити-

ка США сильно не поменяется независимо от того, кто станет президентом США, поскольку в этом отношении позиции демократов и республиканцев схожи.

В мае правительство США отозвало лицензии, которые позволяли компаниям, включая Intel и Qualcomm, продавать свои чипы китайской телекоммуникационной компании Huawei. Это не означает полного запрета, но на каждую поставку этим компаниям приходится получать соответствующие разрешения.

США не ограничиваются введением собственных санкций, а осуществляет давление на своих союзников и, в первую очередь, на Нидерланды и Японию для их присоединения к санкционному процессу, что приносит желаемые результаты. Особенно болезненным для Китая являются ограничения со стороны нидерландской компании ASML. Ранее введенные санкции на поставку EUV-сканеров ASML затормозили прогресс Китая в области технологий менее 7 нм. В текущем году по требованию США Нидерланды приняли решение не продлевать лицензии на техническое обслуживание и запчасти для DUV-сканеров, ранее приобретенных и используемых в производстве китайскими чипмейкерами [44]. Некоторые мелкие поломки можно устранить силами китайских инженеров, но прецизионные линзы, лазеры и другие сложные комплектующие купить и заменить невозможно. Не представляется возможным и выполнить обновление программного обеспечения. Одним из вынужденных решений для китайцев является разборка и использование запчастей от других имеющихся сканеров. ASML также несет убытки, так как от четверти до трети доходов монополиста приходилось на Китай, а техническое обслуживание всех установленных в мире степеров давало ASML около 20% доходов [45].

США хотят отрезать Китай не только от передовых полупроводниковых, но и от квантовых технологий. В мае 37 китайских компаний, занимающихся квантовыми технологиями и вычислениями, были включены в санкционный список из-за подозрений в их двойном использовании [46]. Власти США пытаются изолировать Россию от поставки

китайской продукции, особенно военного и двойного назначения. Санкционный список заподозренных китайских компаний постоянно растет.

С японским оборудованием ситуация несколько проще, чем с европейским и американским, поскольку на многие виды имеется альтернатива в лице китайских и других производителей. Но урон японским компаниям будет также нанесен. Например, японская TEL во II кв. 2024 г. половиной выручки получила от продаж в Китай [47].

У Китая не так много ответных действий на принимаемые новые санкции. К числу основных относятся ограничения на поставку сырья и материалов для полупроводниковой промышленности, по которым Китай является монополистом или главным мировым поставщиком. И китайцы пытаются использовать этот фактор в максимальной степени. Едва ли июньские санкции Китая против структур американского производителя военной техники Lockheed Martin после очередного решения США предоставить оружие Тайваню способны доставить проблемы этой компании, но ограничения на поставки галлия, германия, сурьмы вызвали повышение цен на мировом рынке. Китай контролирует 50% мировых поставок сурьмы и 94% галлия [48]. Еще одним рычагом в торговой войне является решение властей Китая о передаче с 1 октября 2024 г. всех редкоземельных металлов в государственную собственность [49]. Под контроль попадает вся цепочка, начиная с добычи, плавки и заканчивая переработкой, распределением и экспортом. В 2023 г. на Китай приходилось 70% мировых поставок редкоземельных металлов. Заметим, что в 2014 г. по иску ВТО Китай уже отменял квоты и ограничения на их поставку на мировой рынок. Однако мировая экономика устроена так, что при появлении дефицита появляются альтернативные механизмы. Австралия уже заявила, что может заменить Китай на рынке поставок галлия, германия и редкоземельных металлов [50] и страна имеет 15% их мировых объемов. Еще более показательным примером является оперативное замещение поставок высокочистого неона из Украины и России, грозившей, по мнению некоторых отечественных

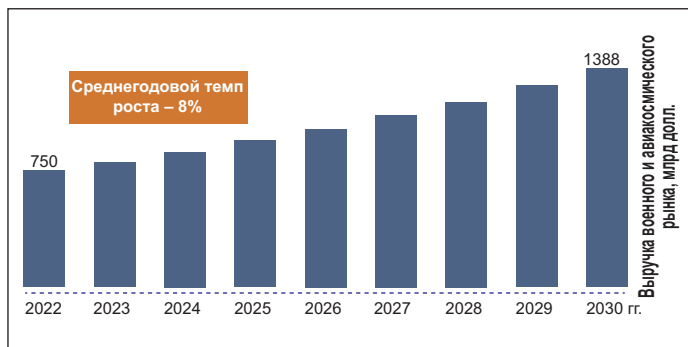


Рис. 4. Рост мирового военного и авиакосмического рынков за период 2022–2030 гг.

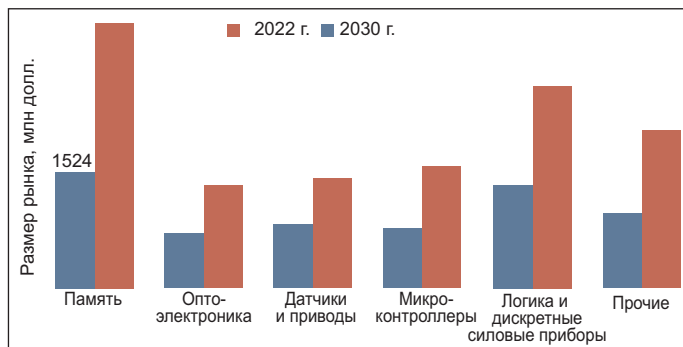


Рис. 5. Мировой рынок сегментов военных полупроводников в 2022 и 2030 гг.

СМИ, чуть ли не остановкой всей мировой полупроводниковой отрасли.

В качестве ответных мер Китай также использует скрытое саботирование и блокирование продаж и покупок, в которых участвуют американские компании. Именно этим обусловлено затягивание переговоров, фактическое блокирование и срыв покупки компанией Intel израильского чипмейкера Tower Semiconductor. В 2022 г. американская DuPont также была вынуждена отказаться от покупки производителя материалов для печатных плат Rogers Corp за 5,2 млрд долл. из-за задержек с получением разрешения от китайского антимонопольного регулятора. По существующим правилам, сделки между крупными транснациональными корпорациями, в которых оба участника получают доход в Китае в размере более 55 млн долл., должны быть зарегистрированы в пекинском Государственном управлении регулирования рынка для утверждения. По этой причине особенно интересной станет борьба с Китаем вокруг реструктуризации и возможной продажи активов Intel.

По изделиям для искусственного интеллекта санкционная ситуация меняется постоянно. США ввели и постоянно ужесточают санкции, добавляя в списки новые продукты. Компания Nvidia – основной бенефициар от поставок продукции для ИИ в Китай, которые являются для нее третьими по объему. Американские власти, расширяя этот список, делают все, чтобы поток продукции Nvidia в Китай прекратился. Однако Nvidia, со своей стороны, постоянно модифицирует ускорители таким образом, чтобы на них не распространялись новые экспортные ограничения США. Ожидается, что по итогам 2024 г. Nvidia поставит в Китай более 1 млн ускорителей H20. Это принесет ей выручку в размере 12 млрд долл. [51]. Чтобы обойти этот список, Nvidia создает новые ускорители с урезанной производительностью и меньшим размером чипа. В результате в Китай поставляются микросхемы уровня предпоследней генерации.

Китай последние годы пытается создать свою альтернативу американской продукции. Такую задачу решает компания Huawei. Однако достижение уровня новейшей продукции Nvidia пока невозможно из-за отсутствия в Китае самых современных 7/5-нм технологий производства и выпуска микросхем памяти повышенной производительности (HBM). Huawei пытается конкурировать с продукцией Nvidia с урезанной производительностью и достигает успеха в этом. По заявлению руководства Huawei, созданный компанией ускоритель Ascend 910C лучше, чем B20 от Nvidia. Утверждается, что текущий объем заказов китайской компании превысит 70 тыс. изделий общей стоимостью около 2 млрд долл., а годовой объем производства достигнет 1,3–1,4 млн [52]. Производство чипов для них будет выполняться на SMIC

по 7-нм технологии. Противостояние США и Китая по ускорителям напоминает гонку в противоположных направлениях. Nvidia снижает производительность и движется назад, а Huawei наращивает свой уровень и достигает встречной точки, когда интерес в Китае к продукции Nvidia исчезает. Понимая это, власти Китая требуют от национальных компаний отказа от продукции Nvidia. В результате американская компания уступила первое место по продаже ускорителей в Китае компании Huawei [53].

США применяют штрафы в отношении компаний, нарушающих санкционные ограничения. Штрафу в 500 тыс. долл. подверглась компания GlobalFoundries за отгрузку кремниевых пластин на сумму 17 млн долл. подсанкционной китайской компании SJ Semiconductor, связанной со SMIC [54]. От гораздо более крупного штрафа компанию спасло то, что GF сама обнаружила нарушения и известила об этом Бюро промышленности и безопасности (BIS).

Нет никаких признаков, что санкционная политика в отношении Китая в среднесрочной перспективе изменится. Очевидно, что своей главной задачей в микроэлектронике на ближайшее десятилетие Китай считает импортозамещение, освоение новых технологий, развитие и расширение внутреннего производства и, в первую очередь, организацию разработки и производства современного полупроводникового оборудования. Зарубежную полупроводниковую продукцию можно скопировать, технологии и промышленные секреты купить или выкрасть с помощью промышленного шпионажа и нужных специалистов, но без выпуска собственного передового оборудования вместо санкционного зарубежного эти задачи не решить. И в этом отношении Китаю придется ориентироваться на собственные возможности.

Санкционные войны оказывают отрицательное влияние на мировой полупроводниковый рынок, вследствие чего рост замедляется, а кризисные провалы становятся глубже. Это происходит из-за снижения импорта полупроводников в Китай и их экспорта из Китая. Заместить такие потребности на мировом рынке в настоящее время сложно.

Выводы

1. Мировой полупроводниковый рынок вырастет в 2024 г. до 627 млрд долл. на 19% в сравнении с предыдущим годом, в первую очередь за счет двухзначного роста продаж микросхем памяти и логики. Сегменты дискретных, оптоэлектронных и сенсорных полупроводников пока полностью не восстановились после прошлогоднего спада.
2. По прогнозу WSTS, в 2025 г. ожидается общий рост мирового полупроводникового

рынка на 11,2%, в том числе по всем типам изделий и мировых регионов.

3. По прогнозам аналитиков, к 2030 г. объем мирового полупроводникового рынка достигнет 1 трлн долл., а к 2040 г. – 2 трлн долл. Основными драйверами роста станут системы искусственного интеллекта, квантовых вычислений, телекоммуникации 6–7G, автомобильная электроника.
4. Стимулирование внутреннего полупроводникового производства в США в рамках программ по национальной суверенизации начинает приносить результаты, и США становятся лидером по темпам роста полупроводников среди мировых регионов в 2024–2025 гг.
5. Отсечение Китая от новых технологий и инвестиций за счет санкций стало устойчивой тенденцией, что требует поиска альтернативных стран для замены Китая как мировой производственной экосистемы.
6. Индия, Малайзия, Вьетнам предпринимают большие усилия для возможной замены Китая, но в Индии уже запущены большие инвестиционные проекты с зарубежными и индийскими инвесторами и ее шансы заменить Китай намного предпочтительнее.
7. Саудовская Аравия и ОАЭ, обладающие громадными нефтяными доходами, заявляют о развитии собственного полупроводникового производства с помощью нового инвестиционного механизма за счет полного собственного финансирования и привлечения известного мирового подрядчика, способного реализовать проект.
8. В рамках растущей милитаризации бюджетов всех стран из-за роста мировых военных конфликтов военная полупроводниковая микроэлектроника совершает стремительный рывок к новым и даже еще не освоенным технологиям для создания более умного оружия, что даст несомненные преимущества странам с самой передовой микроэлектроникой.
9. Продолжается взаимный обмен санкциями между США и Китаем, тормозящими развитие мировой полупроводниковой отрасли. В то же время США и Китай несут потери из-за взаимных санкций.
10. Китай стимулирует национальные компании для развития импортозамещения продукции американских компаний, особенно в сфере ИИ, и достигает локальных успехов по замене не самых передовых ускорителей компании Nvidia. ■

Литература

1. Global Semiconductor Market Poised for Strong Growth in 2024 and 2025. World Semiconductor Trade Statistics (WSTS). December 3, 2024 // www.wsts.org.

2. Gartner Forecasts Worldwide Semiconductor Revenue to Grow 14% in 2025. Gartner. October 28. 2024 // www.gartner.com.
3. The semiconductor decade: A Trillion-Dollar Industry. McKinsey & Company. April 1. 2022 // www.mckinsey.com.
4. More Chip Hubs Needed to Bolster Global Supply Chain Resilience: SEMI CEO. Nikkei Asia. September 12. 2024 // asia.nikkei.com.
5. Global Silicon Wafer Shipments to Remain Soft in 2024 before Strong Expected Rebound in 2025, SEMI Reports. SEMI. October 21. 2024 // www.semi.org.
6. AI Deployment and Supply Chain Recovery from High Inventory Levels to Drive a 20% Annual Growth in Wafer Foundry Market Value by 2025. TrendForce. September 19. 2024 // www.trendforce.com.
7. Samsung урезает контрактное производство чипов до 50% из-за низкого спроса. 3DNews. 01.11.2024 // 3dnews.ru.
8. America Projected to Triple Semiconductor Manufacturing Capacity by 2032, the Largest Rate of Growth in the World. Semiconductor Industry Association. May 08. 2024 // www.semiconductors.org.
9. Боднар Д. Полупроводниковая микроэлектроника – 2023 г. Часть 3. Китай стремится к независимости в микроэлектронике, Япония к былому электронному величию, Индия хочет заменить Китай, а Россия переписывает неисполненные программы и сроки. Электронные компоненты. 2024. № 1.
10. Tata Begins Building 3.2bn doll. Semiconductor Plant as India Gears up for Chip Battle. Evertiq. August 12. 2024 // www.evertiq.com.
11. Tokyo Electron and TATA Electronics Private form Strategic Partnership. Silicon Semiconductor. September 24. 2024 // siliconsemiconductor.net.
12. Tata Group. Wikipedia // www.wikipedia.org.
13. India's Fab Plans Materialize, at Last. EETimes. September 30. 2024 // www.eetimes.com.
14. Tata and Analog Devices Announce Strategic Alliance to Explore Joint Opportunities for Semiconductor Ecosystem in India. Analog Devices. September 18. 2024 // investor.analog.com.
15. Tata and ASMPT Team up to Boost India's Semiconductor Ecosystem. Evertiq. September 11. 2024 // www.evertiq.com.
16. Israel's Tower Semiconductor, Adani Plan 10 Bln Doll. Chip Project in India. Reuters. September 6. 2024 // www.reuters.com.
17. India Clears 2.7 Billion Doll. Micron Chip Testing Plant Ahead of Modi's U. S. Visit. Reuters. June 20. 2024 // www.reuters.com.
18. Chipmaker NXP to Invest 1 Billion Dollars in India to Boost Research & Development. The Indian Express. September 12. 2024 // indianexpress.com.
19. Companies to Roll out Rs 1.2 Trillion EV, Chip Projects in Maharashtra. Business Standard. September 06. 2024 // www.business-standard.com.
20. Indian EV Market May Surge to 120 Billion Dollars by 2030. Evertiq. September 13. 2024 // www.evertiq.com.
21. India Injects 15 Billion Dollars Into Semiconductors First State-Of-The-Art Chip Fab Will Break Ground This Year. IEEE Spectrum. March 06. 2024 // spectrum.ieee.org.
22. India's L&T plans 300 Million Dollars Semiconductor Push. Evertiq. September 13. 2024 // www.evertiq.com.
23. India's Semiconductor Sector Set to Create 1 million Jobs by 2026. Evertiq. November 15. 2024 // www.evertiq.com.
24. Semicon India 2024: PM Modi Pulls out All the Stops for Local Chip Growth. EETimes. September 17. 2024 // www.eetimes.com.
25. Малайзия вложит 107 млрд долл., чтобы стать новой полупроводниковой сверхдержавой. Время электроники. 31.05.2024 // russianelectronics.ru.
26. Malaysia: the Surprise Winner from US-China Chip Wars. Financial Times. March 10. 2024 // ft.com.
27. Vietnam Plans to Establish Over 20 Semiconductor Plants. TrendForce. October 10. 2024 // www.trendforce.com.
28. Pakistan and Indonesia Target Chip Space. Evertiq. April 02. 2024 // www.evertiq.com.
29. Саудовская Аравия намерена серьезно вложиться в производство чипов и стать лидером авиакосмической отрасли. 3DNews. 17.01.2024 // 3dnews.ru.
30. Chip Giants TSMC and Samsung Discuss Building Middle Eastern Megafactories. The Wall Street Journal. September 22. 2024 // www.wsj.com.
31. TSMC, Samsung Reportedly in Talks to Build UAE Plants; Water and U. S. Concerns Key Challenges. TrendForce. September 23. 2024 // www.trendforce.com.
32. GlobalFoundries Abu Dhabi Wafer Fab Postponed, Says Report. EETimes. November 24. 2011 // www.eetimes.com.
33. Боднар Д. Мировая рокировка военной и гражданской микроэлектроники. Везде, кроме России. Электронные компоненты. 2018. № 4.
34. Боднар Д. Полупроводниковая микроэлектроника – 2022 г. Часть 1. Оптимизм роста сменился падением мирового рынка и неопределенностью. Электронные компоненты. 2022. № 12.
35. Draper Aims to Provide DoD Advanced Chips by 2027. EETimes. August 14. 2024 // www.eetimes.com.
36. DARPA Picks UT Austin to House Microelectronics Manufacturing Hub. Defense News. July 18. 2024 // www.defensenews.com.
37. Intel Qualifies for 3.5 Billion Dollars in Grants To Make Chips for US Military. Reuters. September 14. 2024 // www.reuters.com.
38. BAE Systems and GlobalFoundries Collaborate to Strengthen Supply of Essential Semiconductors for National Security Programs. BAE Systems. June 24. 2024 // www.baesystems.com.
39. U. S. Government Accredits GlobalFoundries to Manufacture Trusted Semiconductors at New York Facility. GlobalFoundries. May 30. 2023 // gf.com.
40. IBM Bags 10-year 576m Dollars US Defense Contract. Evertiq. March 22. 2024 // www.evertiq.com.
41. Britain Buys Semiconductor Factory to Secure Supply for Military. Reuters. September 29. 2024 // www.reuters.com.
42. Aerospace and Defense Market Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2030. Zion Market Research // www.zionmarketresearch.com.
43. Global Semiconductor in Military and Aerospace Market Overview. Market Research Future. November 2023 // www.marketresearchfuture.com.
44. ASML Needs License to Service Some Equipment in China, Dutch Government Says. Reuters. September 10. 2024 // www.reuters.com.
45. Explainer-Why Maintaining ASML Equipment Is the New Front in US-China Chip War. Reuters. April 4. 2024 // www.reuters.com.
46. США ввели санкции против китайских разработчиков квантовых компьютеров. Под ударом 37 компаний. CNews. 28.05.2024 // www.cnews.ru.
47. TEL Raises Full-year Forecast; Nearly 50% of Last Quarter's Revenue Comes from China. TrendForce. September 08. 2024 // www.trendforce.com.
48. The Metals War Has Just Begun. European Security & Defence. March 8. 2024 // euro-sd.com.
49. China Plans State Ownership for All of Its Rare Earth Metal Resources – Regulation Comes into Effect on Oct 1. Tom's Hardware. July 1. 2024 // www.tomshardware.com.
50. Chinese Mineral Restrictions Spur Australia to Scavenge Waste for New Sources of Chipmaking Materials – Country Turns to Mining Waste for Rare Earths. Tom's Hardware. October 30. 2024 // www.tomshardware.com.
51. Эскалация торговой войны. Nvidia хотят выпнать из Китая – власти приказали местным компаниям отказаться от ее «железа» на радость Huawei. Cnews. 08.10.2024 // www.cnews.ru.
52. Huawei приступила к поставкам образцов новейших ускорителей Ascend 910C. 3DNews. 30.10.2024 // 3dnews.ru.
53. Exclusive: Nvidia cuts China prices in Huawei Chip Fight. Reuters. May 24. 2024 // www.reuters.com.
54. GlobalFoundries Fined 500,000 doll. for Restricted Chip Exports to Chinese Firm on U. S. Entity List – Chipmaker Shipped 17 Million Doll. Worth of Silicon Wafers to China's SJ Semiconductor. Tom's Hardware. November 2. 2024 // www.tomshardware.com.