

Цифровые ИС: динамика рынка, инвестиций и мощностей

М. Макушин¹

УДК 621.37 | ВАК 05.27.06

Цифровые ИС можно рассматривать не только как основу дальнейшего совершенствования систем управления, средств вычислительной техники, связи, передачи данных и т. п., но и как один из важнейших элементов цифровой трансформации экономики. Доля и цифровых ИС, и полупроводниковых приборов в целом, в структуре стоимости конечных электронных систем в долгосрочной перспективе и ретроспективе растет, капиталовложения увеличиваются, а производственная база расширяется.

Цифровая трансформация экономики, внедрение 5G-технологий (а в перспективе и 6G), расширение применения ИИ, краевых вычислений^{*} и краевого ИИ, развертывание все более мощных центров обработки данных (ЦОД, в том числе и гиперразмерных) требуют увеличения производства различных типов цифровых ИС. Сейчас, фактически, происходит вторая цифровая революция. Если первая, в начале 2000-х годов, затронула в основном потребительскую электронику и средства связи, то нынешняя касается всего уклада жизни и деятельности человечества. Отметим, что если во время «первой цифровой» произошло существенное перераспределение рынка ИС в пользу цифровых приборов (с тех пор они устойчиво занимают 70–80% рынка всех ИС), то сейчас доля аналоговых ИС кардинально не меняется – они тоже необходимы. Вероятно, что текущий цикл роста продаж ИС растянется на три года – в том числе за счет логики, микропроцессоров/микроконтроллеров и ИС ЗУ. Соответственно, ожидается и рост продаж технологического оборудования, расширения производственных мощностей.

ОБЩАЯ ОЦЕНКА РЫНКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ЦИФРОВЫХ ИС

Общими тенденциями развития рынка полупроводниковых приборов в настоящее время являются рост их доли в структуре стоимости конечных электронных систем

и ожидаемое устойчивое увеличение продаж на среднесрочный период – в течение ближайших пяти лет. В краткосрочной перспективе из-за дефицита ИС по ряду позиций в натуральном выражении неудовлетворенный спрос приводит к росту цен и, соответственно, «раздувает» продажи в стоимостном выражении.

Общие тенденции развития рынка полупроводниковых приборов в целом

По данным исследовательской корпорации IC Insights (Скоттсдэйл, шт. Аризона), на январь 2022 года доля стоимости полупроводниковых приборов в цене конечных электронных систем в 2021 году достигла 33,2% (рис. 1), превысив рекорд 2018 года, который составлял 31,1%. Движущей силой более высоких среднегодовых темпов роста в сложных процентах (CAGR) полупроводниковой промышленности по сравнению с рынком электронных систем является увеличение доли полупроводниковых приборов в структуре стоимости электронных систем. В последние 10 лет сектора мобильных телефонов, автомобильной электроники и ПК достигли высокой насыщенности, темпы прироста продаж на этих рынках снижаются. **За период 2011–2021 годов CAGR электронных систем составили 3,5%, а CAGR полупроводниковых приборов – 6,5%.**

Эта тенденция имеет предел – «потолок» доли полупроводниковых приборов в стоимости конечных электронных систем составляет не менее 40%, но, как ожидается, он не будет достигнут в течение следующих пяти лет [1].

Относительно перспектив динамики продаж полупроводниковых приборов на среднесрочную перспективу интересен другой прогноз IC Insights относительно CAGR по основным секторам полупроводниковой промышленности на период 2021–2026 годов. В соответствии с ним CAGR полупроводниковых приборов в целом составит 7,1% (в 2016–2021 гг. – 11%), а CAGR ИС – 6,9% (рис. 2). Это обеспечивается опережающим спросом на оптоэлектронику

¹ АО «ЦНИИ «Электроника», главный специалист, mmackushin@gmail.com.

^{*} Edge computing – краевые вычисления, метод оптимизации облачных вычислительных систем путем дополнения обработки данных на границе сети вблизи источника данных. Данный подход позволяет снизить интенсивность информационного обмена между датчиками и центром обработки данных, выполняя обработку сгенерированных данных в источнике или вблизи него. Требуется использования ресурсов, не подключенных к сети постоянно (ноутбуки, смартфоны, планшетные ПК, датчики и т. п.).

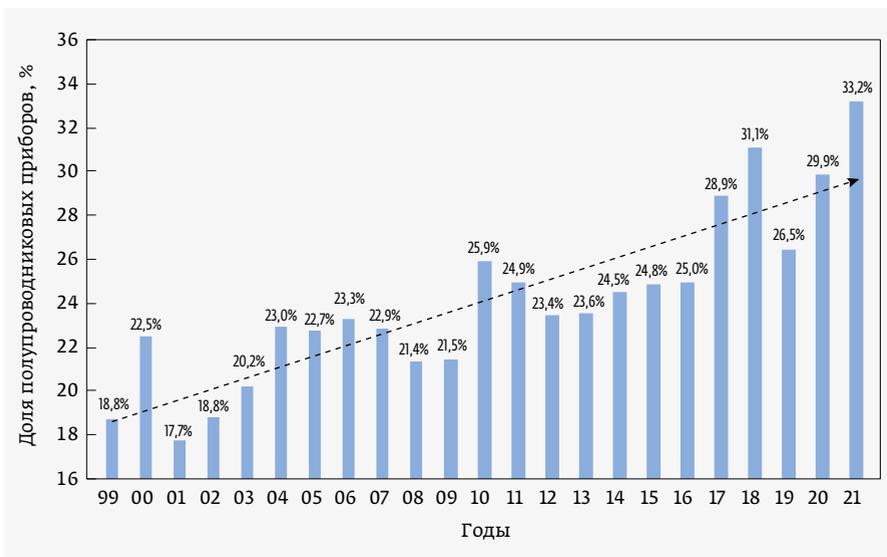


Рис. 1. Динамика доли полупроводниковых приборов в стоимости конечных электронных систем

и датчики/актюаторы, входящие наравне с дискретными полупроводниковыми приборами в сектор O-S-D (optoelectronics, sensors/actuators, discretetes) [2]. Рынок O-S-D в 2021 году достиг 104,2 млрд долл., что на 18% больше показателей 2020 года (88,3 млрд долл.). На продажи O-S-D пришлось 17% общего объема мирового рынка полупроводниковых приборов (613,9 млрд долл.), остальное (509,7 млрд долл.) – на ИС [3]. Отметим, что Ассоциация полупроводниковой промышленности США (SIA) оценивает мировые продажи полупроводниковых приборов за 2021 год в 556 млрд долл., что на 26% выше показателей 2020 года, при этом отгрузки в 2021 году достигли 1,15 трлн шт., что является новым рекордом. Рост продаж в 2020 году составлял 6% (до 440 млрд долл. по сравнению с 412 млрд долл. в 2019 г.). Более чем 1/3 продаж (192 млрд долл.) пришлось на КНР, доля всех стран АТР с учетом Китая – 70%. В США и других странах Северной и Южной Америки продажи выросли до 119 млрд долл., что составляет около 22% общего объема продаж. Доля Европы – 8,5% [4].

Заметим, что прогнозируемые CAGR аналоговых ИС выше, чем у ИС в целом. Из цифровых ИС более высокие CAGR ожидаются только по логическим приборам. При этом наибольшие темпы роста продаж аналоговых ИС в 2022 году прогнозируются для ИС средств связи (31,5% – до 26,233 млрд долл.) – благодаря растущему спросу на 5G мобильные телефоны и инфраструктурное оборудование для их поддержки (беспроводная связь – 91%, проводная связь – 9% продаж аналоговых коммуникационных ИС). Второе место у ИС управления режимом электропитания – 25,5% и 21,201 млрд долл. По другим секторам аналоговых ИС (преобразователи, ИС для промышленной

электроники/ прочие аналоговые ИС, ИС для потребительской электроники, компьютерные ИС, интерфейсные ИС) темпы роста составят от 3,6 до 5,1% [5].

Специалисты IC Insights полагают, что продажи полупроводниковых приборов в 2022 году вырастут на 11% после роста на 25% в 2021 году и на 11% в 2020-м. Возможно рынок впервые с 1993–1995 годов покажет рост более 10% три года подряд [2].

Другие аналитические фирмы ожидают рост продаж полупроводниковых приборов в 2022 году в пределах от 4,2 до 15,8% (средний показатель – 9,5%). Кроме того, корпорация IBS считает, что в 2030 году мировой рынок полупроводниковых приборов достигнет уровня

в 1,2 трлн долл. [6].

Состояние и тенденции развития рынка цифровых ИС

Отраслевые аналитики отмечают, что мировой рынок ИС преодолевает последствия пандемии, но при этом дефицит по ряду товарных позиций остается. В связи с этим рост продаж в стоимостном выражении во многом связан с ростом цен из-за ограниченности предложения в натуральном выражении.



Рис. 2. Прогноз CAGR основных типов полупроводниковых приборов на 2021–2026 годы

Общие перспективы рынка ИС

По данным IC Insights, 2022 год станет третьим годом подряд, когда темпы роста продаж ИС измеряются двузначными показателями. Это первый трехлетний период такого роста за последние 25 лет. В этом году продажи вырастут на 11% до 565,1 млрд долл., а в 2021 году они впервые превысили уровень 500 млрд долл., достигнув 509,8 млрд долл. (+26%). Рост продаж в 2020 году составил 13% (рис. 3) [7]. При этом отгрузки ИС, составившие в 2020 году 322,2 млрд шт., а в 2021 году – 391,8 млрд шт., в этом году увеличатся на 9,2% до 427,7 млрд шт. Это почти в пять раз больше, чем было отгружено в 2000 году, и почти в 44 раза больше, чем было отгружено в 1980 году. Прирост 2021 году составлял 22%, что стало самым показательным с 2010 года [8].

Одна из причин ожидающегося трехлетнего роста продаж ИС с темпами роста 10% и более – последствия пандемии COVID-19, стимулировавшей переход к цифровым операциям частных лиц, сфер бизнеса, производства и обучения, государственных ведомств. Также росту продаж (в стоимостном выражении) способствуют устойчивый спрос в сочетании с ростом средних продажных цен (СПЦ) из-за сбоев и дефицита в цепочках поставок ИС. Ранее длительный (четырёхлетний) цикл роста был зафиксирован в 1992–1995 годах [7].

Говоря о структуре рынка ИС, надо отметить, что цифровые приборы устойчиво занимают большую его часть – в 2021 году на них пришлось 84,1% продаж (табл. 1) [6]. Отметим, что, по оценкам SIA, продажи ИС в 2021 году составили 463,2 млрд долл., тогда как IC Insights говорит о 509,8 млрд долл. Эти расхождения объясняются различиями в используемых методиках подсчетов.

Таблица 1. Структура продаж ИС в 2021 году. Источник: SIA

Тип ИС	Объем продаж, млрд долл.	Доля в продажах, %	Прирост к 2020 году, %
Аналоговые ИС	74,0	15,9	33,0
Логические ИС	155,0	33,5	31,0
Микрокомпоненты (включая микропроцессоры)	80,2	17,4	15,0
Схемы памяти	154,0	33,2	31,0
Всего	463,2	100,0	26,0

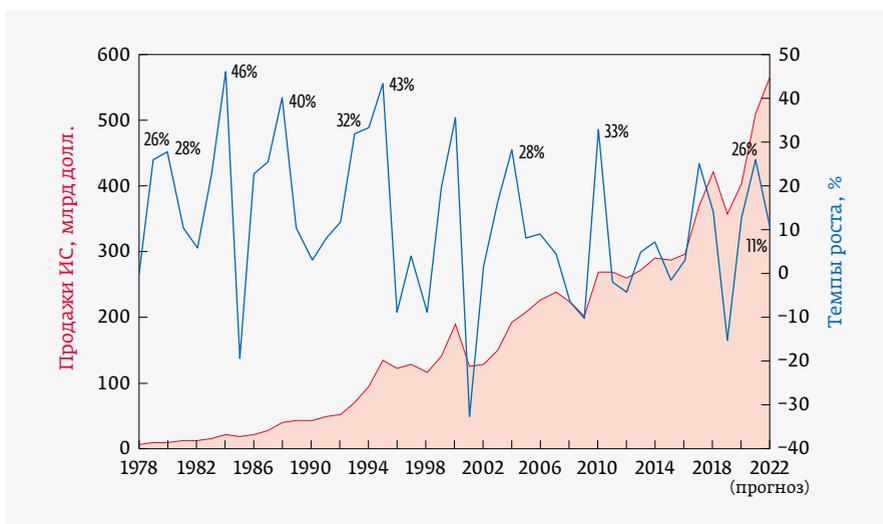


Рис. 3. Темпы роста продаж ИС за период 1978–2022 годов

Причины дефицита ИС и уровень запасов производителей

Принято считать, что текущий дефицит ряда типов ИС связан с пандемией COVID-19, из-за которой спрос на автомобили и некоторые конечные электронные системы резко упал, а производители ИС для них начали закрывать заводы или переключать их на производство ИС для мобильных телефонов, телевизоров, ПК и т. д. (карантин и надомная работа). Но некоторые исследовательские организации считают иначе. Так, например, **корпорация IDC полагает, что одним из основных факторов дефицита стал недостаток мощностей производства ИС по зрелым (40 нм и выше) техпроцессам.** От таких ИС во многом зависит рынок автомобильной электроники и ряд других рынков. В частности, по зрелым техпроцессам в основном выпускают задающие ИС для ЖК-дисплеев, ИС управления режимом электропитания, мощные полупроводниковые приборы, автомобильные ИС и микроконтроллеры. По зрелым техпроцессам в 2021 году было изготовлено 67% полупроводниковых приборов (в натуральном выражении). При этом по передовым техпроцессам было произведено

15% этих приборов в натуральном и 44% в стоимостном выражении [9]. Интересно мнение корпорации IC Insights относительно основной причины дефицита автомобильных ИС: ожидается резкий рост спроса на автомобильные ИС в 2021 году из-за увеличения объема их использования в машинах и в натуральном (отгрузки), и в стоимостном (продажи) выражениях. В 2021 году отгрузки автомобильных ИС к 2020 году выросли на 30% – до 52,4 млрд шт. (отгрузки ИС в целом выросли на 22% до 394 млрд шт.), а к допандемийному 2019 году – на 27% [10].

Относительно уровня запасов производителей ИС недавно высказалось министерство торговли США – на основе опроса 150 полупроводниковых фирм было сделано заключение, что средний уровень товарно-материальных запасов производителей ИС снизился до пяти дней по сравнению с 40 днями в 2019 году. С другой стороны, средний спрос по сравнению с 2019 годом вырос на 17%.

Респонденты не видят быстрого решения и считают, что дефицит ИС может продлиться до 2023 года. Обвал поставок ИС привел к падению продаж автомобилей, что привело к снижению ВВП США на 2% [11].

Перспективы рынков основных типов цифровых ИС

Сектор логических ИС представлен специализированными ИС (ASIC*), специализированными стандартизированными продуктами (ASSP**), задающими ИС для дисплеев и программируемыми логическими ИС (PLD), включая вентиляльные матрицы, программируемые пользователями (FPGA). Рынок логических ИС разделен на различные типы продуктов, которые являются эксклюзивными по отношению друг к другу, и быстро переходит в фазу, когда их архитектуры меняются и эти продукты пытаются конкурировать на других рынках, таких как рынки микроконтроллеров, микропроцессоров и ЦОС-процессоров (DSP). Относительно недавно предпочтительным решением во многих случаях являлись ASIC, но в настоящее время они все чаще заменяются ASSP или FPGA. В целом же сектор логических ИС также разделяют на приборы специального назначения и приборы общего назначения. Сегмент логических ИС общего назначения сильно фрагментирован, и, к сожалению, данных по нему найти не удалось. По логическим ИС специального назначения информации больше.

* ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) – специализированная (проблемно-ориентированная) ИС, заказная ИС. Микросхема для выполнения набора специальных функций, обычно разрабатываемая под конкретного заказчика.

** ASSP (Application-Specific Standardized Product) – стандартизированный специализированный продукт, специализированная ИС, разрабатываемая более чем для одного заказчика. Отличается от ASIC большей универсальностью (стандартностью) используемых при ее создании элементов.

Специалисты фирмы Research and Markets оценивают развитие **рынка логических ИС специального назначения следующим образом: в 2018 году он составил 77,283 млрд долл., а в 2024 году он достигнет 93,628 млрд долл. при CAGR за прогнозируемый период в 3,25%**. Производители все больше внимания уделяют производству ИС, оптимизирующих энергопотребление наряду с обеспечением желаемой производительности. При этом ужесточаются требования к компактности конструкций. Ожидается, что развивающаяся тенденция интеграции различных устройств будет стимулировать рынок логических ИС специального назначения. По типам эти приборы разделяются на ASSP и потребительские специализированные ИС (CSIC). Основными их потребителями являются производители средств связи, автомобильной, потребительской и промышленной электроники [12].

В секторе микрокомпонентов основными позициями являются микроконтроллеры и микропроцессоры. По данным IC Insights, **продажи микроконтроллеров в 2021 году выросли на 23% – до 19,6 млрд долл.** после падения на 2% в 2020 году из-за COVID-19. Ожидается, что в 2022 году мировые продажи микроконтроллеров увеличатся на 10% до 21,5 млрд долл., при этом наибольший рост ждут в секторе автомобильных приборов. Данные по CAGR и ожидаемой структуре продаж микроконтроллеров в период 2021–2026 годов представлены в табл. 2.

Отгрузки микроконтроллеров в 2021 году выросли на 12% до 30,9 млрд шт. CAGR отгрузок за 2021–2026 годы составит 3,0%, а отгрузки в 2026 году – 35,8 млрд шт., а СПЦ в 2021 году поднялись на 10% – до 0,64 долл., то есть вернулись на допандемийный уровень 2019 года. В 2021–2026 годах CAGR СПЦ составит 3,5%.

Около 46% продаж микроконтроллеров обеспечивается за счет приборов общего назначения для встраиваемых применений (включая смартфоны, компьютеры и компьютерную периферию, промышленную и потребительскую

Таблица 2. Структура продаж микроконтроллеров в 2026 году и CAGR за период 2021–2026 годов.

Источник: IC Insights

Разрядность микроконтроллеров	Продажи в 2026 году (прогноз), млрд долл.	CAGR за период 2021–2026 гг., %
32-разрядные приборы	20,0	9,4
16-разрядные приборы	4,7	1,6
4/8-разрядные приборы	2,4	0
Итого	27,2	6,7

электронику). На автомобильную электронику приходится чуть более 40% потребления микроконтроллеров, а остальные почти 14% – на банковские смарт-карты, удостоверения личности и т. п. [13].

Общий **объем продаж микропроцессоров в 2021 году вырос на 14% после роста на 16% в 2020-м**, когда карантинные меры из-за пандемии COVID-19 привели к росту спроса на ПК и смартфоны с большим экраном вследствие увеличившейся зависимости от Интернета удаленных работников и других лиц. Ожидается, что в 2022 году мировой рынок микропроцессоров расширится еще на 7%. При этом отгрузки возрастут на 6%, до 2,6 млрд шт. Данные по CAGR и ожидаемой структуре продаж микропроцессоров в период 2021–2026 годов указаны в табл. 3.

Расширение рынка микропроцессоров в 2021 году обусловлено тем, что продажи прикладных процессоров для мобильных телефонов выросли на 31%. Пользователи перешли на более быстродействующие смартфоны, в том числе с новыми модемами 5G сотовой связи, камерами с увеличенной разрешающей способностью и возможностями машинного обучения при помощи искусственного интеллекта (ИИ) – для автоматического повышения четкости / цветности. Дефицитность поставок новейших прикладных процессоров для смартфонов и непрерывная интеграция большего числа функций, ускорителей, мощной графики и высокоскоростных 5G-модемов на этих микропроцессорах приведут к росту СПЦ в 2022 году на 4% (в 2020–2021 гг. СПЦ росли на 22% ежегодно).

Темпы роста продаж центральных процессоров – компьютерных микропроцессоров – в 2021 году снизились до 4% после роста на 14% в 2020 году из-за того, что многие потребители, предприятия и школы купили персональные и домашние компьютеры для удаленной работы и обучения на дому в первый год пандемии COVID-19. В 2022 году продажи компьютерных процессоров (включая процессоры x86 от Intel и AMD для традиционных ноутбуков и настольных ПК) вырастут еще на 4%. Наконец, продажи встраиваемых микропроцессоров, предназначенных для широкого спектра конечных систем (автомобильная и промышленная электроника, средства связи, Интернет

вещей), в 2022 году вырастут на 9%. В 2020 и 2020 годах темпы роста их продаж составляли 11% [14].

По данным ресурса Statista, продажи **ИС ЗУ в 2021 году составили 155 млрд долл. Из них 56% пришлось на ДОЗУ, а 41% – на флеш-память NAND-типа** [15]. Оценки рынков ДОЗУ и флеш-памяти NAND-типа различными фирмами могут существенно отличаться. Рынки этих ИС ЗУ отличаются высокой изменчивостью цен в течение достаточно кратких периодов. Например, ресурс MarketWatch считает, что продажи ДОЗУ и флеш-памяти NAND-типа вырастут со 140,68 млрд долл. в 2021 году до 213,22 млрд долл. в 2028 году, а CAGR за рассматриваемый период составит 6,1% [16].

Ресурс Reddit утверждает, что продажи ДОЗУ увеличатся с 63,49 млрд долл. в 2020 году до 110,4 млрд долл. в 2026 году, а прогнозируемые CAGR составят 9,7%. В 2020 году около 78% рынка ДОЗУ в стоимостном выражении было представлено ИС ДОЗУ с интерфейсом DDR4, появление приборов с интерфейсом DDR5 ожидается в 2022–2023 годах. Ведущими поставщиками ДОЗУ являются корпорации Samsung, SK Hynix, Micron Technology, Nanya Technology и Winbond Electronics, на которые приходится более 95% продаж в стоимостном выражении [17].

Mordor Intelligence оценивает продажи флеш-памяти NAND-типа в 2021 году в 66,52 млрд долл. и ожидает их роста в 2027 году до 94,24 млрд долл. при CAGR=5,33%. Отмечается, что на данном рынке, помимо приборов, хранящих в одной ячейке бит данных (SLC), все большее распространение получают приборы с ячейками, способными хранить два (MLC), три (TLC) и четыре (QLC) бита данных. Основные сферы применения данной флеш-памяти – смартфоны, твердотельные накопители (SSD), карты памяти и планшетные ПК. Современные макротенденции освоения искусственного интеллекта и машинного обучения, расширения средств обеспечения мобильности и подключаемости крайне благоприятны для дальнейшего развития рынков флеш-памяти NAND-типа и увеличения доли этих приборов в общей структуре продаж полупроводниковых приборов [18].

Таблица 3. Структура отгрузок микропроцессоров в 2021–2026 годах и CAGR за период 2021–2026 годов.

Источник: IC Insights

Тип микропроцессоров	Продажи, млрд долл.			CAGR за период 2021–2026 гг., %
	2021 год	2022 год	2026 год	
Компьютерные микропроцессоры	48,4	50,5	58,1	3,7
Прикладные процессоры	34,8	38,4	47,4	6,3
Встраиваемые приборы	19,7	21,5	27,8	7,2
Итого	102,9	110,4	133,3	5,3



ГРУППА КОМПАНИЙ

ЭЛЕКТРОННОЕ СПЕЦИАЛЬНОЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

АО НПП ЭСТО (Группа компаний ЭСТО) - объединение ведущих российских предприятий, специализирующихся на разработках, производстве, модернизации, продаже и сервисном обслуживании специального технологического оборудования.

Направления деятельности группы «ЭСТО»

Разработка и производство технологического оборудования (лазерное, вакуумное, сборочное, нестандартное) и внедрение технологий

Организация поставок как отдельных единиц зарубежного технологического оборудования, так и комплексных законченных технологий «под ключ»

Комплексная и частичная модернизация российского и зарубежного технологического оборудования любой сложности

Сервисное обслуживание российского и зарубежного технологического оборудования

Проектирование и строительство производств микроэлектроники

Обучение специалистов заказчика

Технологический аудит производства

Группа компаний ЭСТО более 20 лет производит оборудование для микроэлектроники в собственном инженерно-производственном комплексе метражом в 5000 кв.м в г. Зеленограде

Акционерное общество
«Научно-производственное
предприятие «Электронное
специальное технологическое
оборудование»

124460, Москва, Зеленоград,
просп. Георгиевский, д. 5, стр. 1
тел.: (499) 729-77-51,
(499) 479-12-39
info@nppesto.ru
www.nppesto.ru



Если же смотреть долгосрочные тенденции рынка ИС ЗУ (до 2031 года), то, по данным исследовательских фирм Objective Analysis и Coughlin Associates, перспективные типы схем памяти начнут вытеснять существующие типы ИС ЗУ, а именно флеш-память NOR-типа, СОЗУ и ДОЗУ, как в секторе автономных схем памяти, так и в сегменте приборов, встраиваемых в микроконтроллеры; ASIC и даже компьютерные процессоры. Под перспективными типами схем памяти понимаются ОЗУ на эффекте изменения фазового состояния (PCRAM), магнитная память на эффекте переключения спинового момента электрона (spin-transfer torque MRAM, STT-MRAM) и ряд других типов ИС ЗУ. Ожидается, что к 2031 году емкость рынка таких приборов составит 44 млрд долл. [19].

РАСШИРЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БАЗЫ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ЦИФРОВЫХ ИС В 2020–2021 ГОДАХ

По мере выхода мировой экономики из пандемии COVID-19 началось расширение производственных мощностей полупроводниковой промышленности. Производители ИС наращивают свои мощности по обработке как пластин диаметром 300 мм, так и 200-мм пластин. Доля ведущих производителей в общем парке установленного оборудования также увеличивается.

Рост концентрации производственных мощностей

В целом можно отметить, что доля ведущих производителей ИС в общем парке установленного оборудования растет. Так, в конце 2021 года 57% мировых мощностей по обработке пластин (в месяц, в пересчете на структуры диаметром 200 мм) полупроводниковой промышленности принадлежало пяти ведущим корпорациям (табл. 4). Годом ранее их доля в общем парке установленного технологического оборудования составляла 56%, в 2018 году – 53%, а в конце 2011 года – около 40%.

Таблица 4. Доля установленных мощностей пяти ведущих производителей ИС в общем парке установленного оборудования (по состоянию на декабрь 2021 и 2020 гг.)

Место	Место	Фирма (страна штаб-квартиры)	Установленные мощности, млн пластин / месяц		Доля в общем парке установленного оборудования, %	
			2021	2020	2021	2020
1	1	Samsung (Ю. Корея)	4,050	3,364	19	17
2	2	TSMC (Тайвань)	2,803	2,647	13	13
3	3	Micron (США)	2,054	1,931	10	10
4	4	SK Hynix (Ю. Корея)	1,982	1,881	9	10
4	5	Kioxia / Western Digital (Япония)	1,328	1,283	6	7
В целом			12,217	11,104	57	56

Общая месячная мощность по обработке полупроводниковых пластин перечисленными пятью корпорациями в декабре 2021 года составили 12,2 млн пластин. Это на 10% больше, чем годом ранее. Годовой прирост установленных мощностей по этим фирмам на 1% превышает прирост мощностей по отрасли в целом [20].

Расширение мощностей по обработке пластин диаметром 300 и 200 мм

Обработка 300-мм пластин в серийном производстве ИС началась в 1999–2000 годах с проектных норм 90 нм. Первоначально на этих пластинах формировались исключительно цифровые ИС – ДОЗУ, флеш-память NAND-типа, микропроцессоры. Позднее, по экономическим соображениям, на них стали изготавливать аналоговые ИС, мощные полупроводниковые приборы. Но аналоговые ИС не масштабируются ниже проектных норм в 40 нм, поэтому все новейшие заводы по обработке 300 мм пластин предназначены для производства именно цифровых ИС. В конце 2021 года в мире было 153 завода по обработке 300-мм пластин. Они производили ИС, включая КМОП-формирователи сигналов изображения, а также прочие полупроводниковые приборы, включая мощные дискретные приборы. В 2021 году открылось 14 новых заводов. В 2022 году планируется открыть 10 заводов (табл. 5), в 2023-м еще 13 и 10 в 2024 году. По прогнозам, к 2026 году в мире будет работать более 200 заводов / линий по обработке 300-мм пластин (рис. 4).

Из 10 открываемых в 2022 году заводов два – фирм CR Micro и Silan Micro в КНР – предназначены для изготовления мощных транзисторов. TSMC вводит в строй четыре новых завода (ИС с топологическими нормами от 5 до 28-нм). Texas Instruments и STMicro завершают строительство заводов по производству аналоговых и цифро-аналоговых ИС. Еще два завода – линия SK Hynix по производству 3D флеш-памяти NAND-типа завод Winbond по производству ДОЗУ [21].



Разработка и производство конденсаторов

оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы

K50-15, K50-17, K50-27, K50-37, K50-68, K50-77, K50-80, K50-81, K50-83, K50-84, K50-85, K50-86, K50-87, K50-88, K50-89, K50-90, K50-91, K50-92, K50-93, K50-94, K50-95(чип), K50-96, K50-97(чип), K50-98, K50-99, K50-100, K50-101(чип), K50-102, K50-103, K50-104, K50-105, K50-106

объемно-пористые танталовые конденсаторы

K52-1, K52-1M, K52-1BM, K52-1B, K52-9, K52-11, K52-17, K52-18, K52-19, K52-20, K52-21, K52-24, K52-26(чип), K52-27(чип), K52-28, K52-29, K52-30

оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы

K53-1A, K53-7, K53-65(чип), K53-66, K53-68(чип), K53-69(чип), K53-71(чип), K53-72(чип), K53-74(чип), K53-77(чип), K53-78(чип), K53-82

суперконденсаторы (ионисторы)

K58-26, K58-27, K58-28, K58-29, K58-30, K58-31, K58-32, K58-33

накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ

Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям ISO 9001





Рис. 4. Динамика увеличения числа заводов по обработке 300-мм пластин в 2008–2026 годах

Что касается мощностей по обработке 200-мм пластин, то, по данным SEMI, производители полупроводниковых приборов намерены за период с 2020 года до конца 2024 года увеличить мощности по обработке 200-мм пластин на 1,2 млн шт. в месяц или на 21% (рис. 5). В конце прогнозируемого периода мощность обработки пластин составит 6,9 млн шт. в месяц. После роста расходов на оборудование обработки 200-мм пластин до 5,3 млрд

долл. в прошлом году, в 2022 году они составят 4,9 млрд долл., а в 2023-м – более 3,0 млрд долл. (кремниевые заводы – 54%, производители дискретных/силовых приборов – 20%, аналоговых ИС – 19%), поскольку загрузка мощностей по обработке таких пластин остается на высоком уровне, а мировая полупроводниковая промышленность работает над преодолением дефицита ИС.

Капиталовложения производителей цифровых ИС в 2019–2021 годах

По оценкам IC Insights, мировые капитальные вложения производителей ИС в 2021 году вырастут на 34%, что является самым высоким показателем с 2017 года (41%).

Таблица 5. Перечень заводов по обработке 300-мм пластин, открывающихся в 2022 году

Фирма	Название завода	Дислокация	Продукция
CR Micro	Rinxin Microelectronics	Чунцин, КНР	Мощные полупроводниковые приборы
Silan	Xiamen Silan	Сямынь, КНР	Мощные дискретные приборы, датчики
SK Hynix	M15, Phase 2	Чхонджу, Ю. Корея	Флеш-память NAND-типа
SMIC	SMIC Shenzhen	Шеньжень, КНР	Кремниевый завод
STMicroelectronics/ Tower	Agrate300	Аграте, Италия	Цифро-аналоговые ИС, мощные приборы, РЧ ИС, кремниевый завод
Texas Instruments	RFAB2	Ричардсон, шт. Техас	Аналоговые приборы
TSMC	Fab 18, Phase 4	Тайнань, Тайвань	Кремниевый завод
TSMC	Fab 16, Phase 2	Нанкин, КНР	Кремниевый завод
TSMC	Fab 18, Phase 5	Тайнань, Тайвань	Кремниевый завод
Winbond		Гаосюн, Тайвань	ДОЗУ

МНОГОСЛОЙНЫЕ
КЕРАМИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ

ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩАЯ ПРОДУКЦИЯ
для высоконадёжной аппаратуры

ТЕРМОРЕЗИСТОРЫ
с положительным температурным
коэффициентом сопротивления

РЕГИСТРЫ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ

www.monolit.by
МОНОЛИТ



Акционерное общество
«СПЕЦ-ЭЛЕКТРОНКОМПЛЕКТ»

ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИЛЕР
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

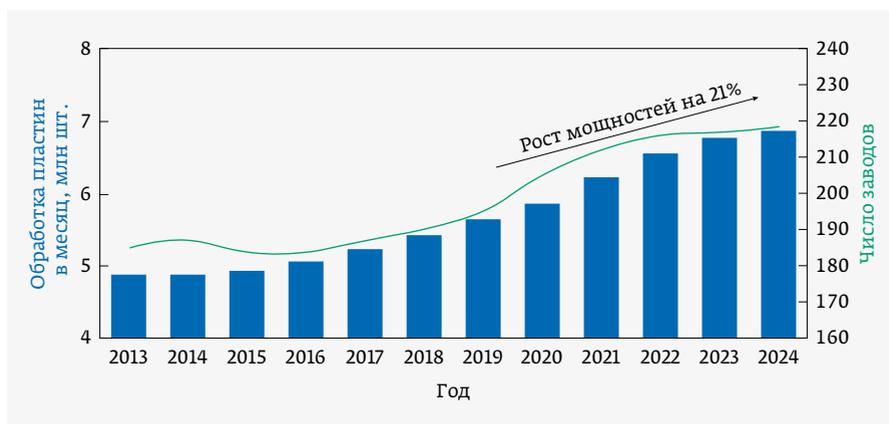


Рис. 5. Динамика числа заводов по обработке 200-мм пластин (серийные заводы, вероятность ввода в строй/продолжения работы более 50%)

При этом самые высокие темпы роста капиталовложений покажут производители микропроцессоров/микроконтроллеров (42%). Структура этих расходов приведена в табл. 6. На сегмент кремниевых заводов (контрактное производство ИС) в 2021 году придется 35% всех инвестиций отрасли. При этом на них (TSMC и Samsung Foundry) в настоящее время приходится 100% производства ИС с проектными нормами 7 и 5 нм. Доли в доходах кремниевых заводов от производства аналоговых ИС варьируется от корпорации к корпорации, но в целом

не превышает 15–20%. Соответственно можно утверждать, что наибольшая часть капиталовложений полупроводниковой промышленности связана с производством цифровых ИС. Что касается кремниевых заводов, то с 2014 года на них ежегодно приходится наибольшая доля капитальных затрат (из-за освоения процессов с минимальными проектными нормами) – за исключением 2017 и 2018 годов, когда резко возросли капитальные затраты производителей ДОЗУ и флеш-памяти NAND-типа. По оценкам, на долю TSMC, крупнейшего в мире кремниевого завода, в 2021 году пришлось 57% всех капиталовложений этого сектора в 53,0 млрд долл. Samsung также делает значительные инвестиции в свое foundry-отделение. Правительство КНР рассчитывало, что SMIC будет поставлять все большие объемы ИС на китайский рынок, но включение SMIC в «черный список» министерства торговли США серьезно ограничило возможности этой корпорации. По оценкам, капитальные затраты SMIC в этом году сократятся на 25% до 4,3 млрд долл., что составит всего 8% от общих расходов кремниевых заводов в 2021 году [19].

Таблица 6. Структура капиталовложений производителей цифровых ИС в 2019–2021 годах

Тип ИС/бизнеса производителя	Объем капиталовложений, млрд долл.			Прирост, %		
	2019	2020	2021 (оценка)	2019/2018	2020/2019	2021/2020
Микропроцессоры/микроконтроллеры (доля от общих капиталовложений, %)	16,9 (17,0)	16,5 (15,0)	23,5 (15,0)	12,0	-2,0	42,0
Логика (доля от общих капиталовложений, %)	8,5 (8,0)	8,8 (8,0)	12,4 (8,0)	6,0	4,0	40,0
ДОЗУ/СОЗУ (доля от общих капиталовложений, %)	19,1 (19,0)	17,9 (16,0)	24,0 (16,0)	-17,0	-6,0	34,0
Флеш/прочая энергонезависимая память (доля от общих капиталовложений, %)	22,6 (22,0)	24,6 (22,0)	27,9 (18,0)	-19,0	9,0	13,0
Кремниевые заводы/аналоговые ИС (доля от общих капиталовложений, %)	26,2/9,0 (26,0/9,0)	37,3/7,9 (33,0/7,0)	53,0/11,2 (35,0/7,0)	18,0/-7,0	42,0/-12,0	42,0/41,0
Всего (доля от общих капиталовложений, %)	102,5 (100,0)	113,1 (100,0)	152,0 (100,0)	-3,0	10,0	34,0

* Кремниевые заводы и производители аналоговых ИС

* * *

По мере цифровизации экономики и других сфер деятельности человека будут появляться новые области применения ИС и расширяться существующие. Значительную роль здесь будут играть цифровые ИС. По среднесрочным прогнозам – до 2025–2026 годов – ожидается рост производства / продаж ИС, увеличение капиталовложений и расширение производственных мощностей. После этого возможен период корректировки, но уже к 2030–2031 годам появятся новые факторы, стимулирующие развитие микроэлектроники – 6G технологии, квантовые вычисления, новое поколение средств ИИ, полностью автономные транспортные средства.

Разумеется, не все прогнозы сбываются. События на Украине мало воздействуют на мировую микроэлектронику. Куда существеннее будут последствия чего-либо подобного на Тайване – особенно если они произойдут до 2024–2025 года. Это дата начала ввода в строй новейших крупносерийных мощностей по производству ИС, создаваемых в США тайваньскими фирмами (прежде всего TSMC), с переброской наиболее ценных кадров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Semi Content in Electronic Systems Reached Record High in 2021 // IC Insights. Research Bulletin. January 11. 2022.
2. Semiconductor Sales To Rise at 7.1% CAGR Through 2026 // IC Insights. February 10. 2022.
3. Sensor/Actuator and Discrete Sales Surge in 2021, Not So for Opto // IC Insights. February 01. 2022.
4. **Hamblen M.** Chip sales hit record; Asia still has 70% of \$556 billion market IoT & Wireless // Fierce Electronics. Feb 14. 2022.
5. Analog Market Momentum to Continue Throughout 2022 // IC Insights. March 23. 2022.
6. SEMI Market Forecast: «Remarkable» Growth // Semiconductor Digest. December 10. 2021.
7. **Manners D.** Three years of double digit gains // Electronics Weekly. 19th January. 2022.
8. Total IC Unit Shipments Forecast to Climb 9% This Year // IC Insights. April 13. 2022.
9. Semiconductor Shortage Issues Migrating from Front-End to Back-End Manufacturing with COVID, According to IDC // Semiconductor Digest. January 28. 2022.
10. The Real Reason Behind the Automotive Industry IC Shortage – A Step-Function Surge in Demand! // IC Insights. January 25. 2022.
11. **Manners D.** US down to 5 days of IC inventory says DoC // Electronics Weekly. 26th January. 2022.
12. Global Special Purpose Logic Integrated Circuit (IC) Market – Forecasts from 2019 to 2024 // Research and Markets. March 2019. Report ID: 4767026.
13. Microcontrollers Get a Lift from Automotive After 2021 Rebound. IC Insights. March 29. 2022.
14. Microprocessor Growth Will Slow in 2022 after Cellphone MPU Surge // IC Insights. February 23. 2022.
15. **Alsop T.** Global memory IC (DRAM/NAND) market revenue share 2021 // Statista. May 20. 2021.
16. NAND Flash Memory and DRAM Market Size & Share 2022 – Global Business Review, Key Findings, Company Profiles, Growth Strategy, Developing Technologies, Trends and Forecast by Regions // MarketWatch. March 6.
17. 2022 Dynamic Random Access Memory (DRAM) Market Size In 2021 // Reddit. Aug 09. 2021.
18. Nand Flash Memory Market – Growth, Trends, Covid-19 Impact And Forecasts (2022–2027) // Mordor Intelligence. 2021.
19. **Hilson G.** Emerging Memories Look to Displace NOR, SRAM // EE Times. 08.30.2021.
20. Top Five Leaders Continue Expanding Share of Global IC Fab Capacity // Semiconductor Digest. April 5. 2022.
21. Count of Semiconductor Fabs Using 300mm Wafers Projected to Exceed 200 by 2026 // Semiconductor Digest. February 25. 2022.
22. 200mm Semiconductor Fab Capacity Set to Surge 21% to Mitigate Supply-Demand Imbalance, SEMI Reports // Semiconductor Digest. April 10. 2022.
23. Semi Capex on Pace for 34% Growth in 2021 to Record \$152.0 Billion // IC Insights. December 14. 2021.

ООО «Руднев-Шиляев»

- разработка измерительных систем по техническому заданию Заказчика.
- помощь в составлении технического задания Заказчика.
- производство измерительных систем.
- разработка и производство приборов.
- разработка программно-аппаратного обеспечения по ТЗ Заказчика.
- сертификация измерительных систем и приборов.

Инструментальные решения задач заказчика!

125130, г. Москва, ул. Клары Цеткин, д. 33 корп. 35
 www.rudshel.ru, e-mail: adc@rudshel.ru
 тел./факс: (495) 787-6367, 787-6368