

МИРОВОЙ РЫНОК МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Камолходжаев Жамолиддин Шарабутдинович
“UZLOGISTIC”

Аннотация:

В статье проанализированы изменения структуры и принципов функционирования мирового рынка микроэлектроники, наблюдаемые в последние годы. Особое внимание уделяется новым моделям организации и ведения бизнеса компаниями в мировой микроэлектронной отрасли. В зависимости от концентрации компаний определенной модели в микроэлектронной отрасли страны и их рыночной власти на мировом рынке выделяются специализации или модели национальных микроэлектронных отраслей исследуемых стран.

Ключевые слова: NVIDIA, AMD, компьютеры и серверы, бытовая электроника, микросхемы, микроэлектроники, TSMC, ASML.

Introduction

Микроэлектронная индустрия относительно молода: первый транзистор появился в 1948 году, активное развитие коммерческой микроэлектроники началось в США в конце 1950-х, с микроэлектроникой же в значительной степени связаны «экономические чудеса» в азиатских странах — Японии, Южной Корее, Сингапуре и Тайване.

В 1960-е годы новые микроэлектронные компании появлялись по всему миру. Для создания успешной компании было вполне достаточно восьми толковых студентов и инвестиций, которые они могли привлечь. На эти вложения можно было оборудовать собственное производство. Через десять лет оборудование стало настолько сложнее и дороже, что стартапам пришлось использовать мощности больших компаний. Многие слышали о законе Мура, говорящем, что число транзисторов на чипе должно удваиваться каждые полтора года. Несколько меньше известен второй закон Мура, гласящий: удваиваться должна также и стоимость постройки современной микроэлектронной фабрики. Сейчас эта цифра перевалила за \$10 млрд, и уже к середине 1980-х годов иметь собственное производство совершенно стало слишком дорого для начинающих компаний.

Примерно тогда же американский инженер китайского происхождения Моррис Чан вместо того, чтобы выйти на пенсию, переехал из США на Тайвань в самый разгар трансформации местной экономики. В 1987 году Чан основал компанию Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), бизнес-моделью которой был полный отказ от разработки собственных продуктов и работа исключительно над заказами других компаний, не имеющих собственного производства. Такой подход оказался выгоден обеим сторонам: стартапы, занимающиеся разработкой, смогли сэкономить огромное количество денег и начать делать востребованные продукты с очень скромными ресурсами, а TSMC смогла уменьшить себестоимость производства за счет больших

совокупных тиражей. Итогом 30 лет развития этого подхода стало практически универсальное разделение труда и узкая специализация.

Другой итог — глобализация: тайваньские фабрики открыты для всех желающих из любой точки земного шара. Это привело ко всемирному расцвету так называемых «бесфабричных» (fabless) компаний. Размер этих компаний может быть любым, от гигантов типа NVIDIA и AMD до крошечных команд из 10–20 человек. Успех модели контрактного производства был столь ошеломительным, что прямо сейчас TSMC находится в десятке самых дорогих компаний мира вместе с пятью своими клиентами (Apple, Google, NVIDIA, Tesla, Amazon — все они разрабатывают собственные микросхемы и производят их на TSMC). На сегодняшний день на Тайване производится пятая часть всех микросхем мира по объему и еще больше — в денежном выражении, потому что именно тайваньские фабрики являются наиболее передовыми, и их продукция стоит дороже всего. Влияние Тайваня на глобальные экономические цепочки огромно, и правительство страны умело пользуется этим фактом для того, чтобы обеспечить себе защиту от притязаний со стороны континентального Китая.

В 2018 году обострилось торговое противостояние США и Китая, и многие страны переоценили геополитические риски. Микроэлектроника, сильно зависимая от Тайваня, стала одной из ключевых тем деглобализации. Правительство США выделило 52 % на развитие собственного микроэлектронного производства и размещение на своей территории заводов TSMC и Samsung. Евросоюз выделил сравнимую сумму на создание передового производства в Европе — им займется Intel в немецком Магдебурге. Меньшие, но значительные для своих экономик суммы выделили Япония и некоторые другие страны. При этом речь идет не о полной локализации всего производственного цикла, а только о переносе акцентов в географическом распределении финальных стадий производства. Речь не идет ни о новых разработках производственного оборудования, ни о принципиальном изменении географии цепочки поставок: современная микроэлектроника все еще остается очень глобализованной отраслью. Единственное исключение — Китай, который уже много лет работает над программой практически полного импортозамещения микроэлектроники, включая все необходимое для этого машиностроение. Впрочем, достигнув довольно серьезных успехов в сокращении разрыва и локализации производства, в последние пару лет Китай явно испытывает сложности с тем, чтобы пройти несколько последних шагов. Если мы сравниваем китайскую промышленность с общемировой, то TSMC уже начали выпускать микросхемы с нормами 4 нм, а в Китае вот уже несколько лет лучшими доступными проектными нормами остаются 14 нм, причем сделанные с использованием оборудования ASML. Собственный китайский литограф на 28 нм уже который год находится на финальной стадии, а Huawei начали строить «независимое от Запада» производство микросхем по нормам 45 нм. Успехи и неудачи китайского подхода демонстрируют сложность задачи импортозамещения даже для самой большой экономики мира.[2]

Деглобализация рынка микрочипов

На сегодняшний день все крупные фабрики и поставщики ушли с российского рынка или объявили, что будут соблюдать многочисленные санкции, под которыми находятся не только поставки для российского ВПК и госструктур, но и завод «Микрон», а также

разработчик «Эльбрус» МЦСТ и «Байкал электроникс». С вебсайтов большинства не попавших под санкции микроэлектронных компаний пропала значительная часть информации, касающаяся сотрудничества с иностранными фабриками. В среднесрочной перспективе возможно сотрудничество с Китаем, но китайские производства все еще зависимы от американских технологий и весьма вероятно будут вынуждены соблюдать санкции. Кроме того, почти все китайские фабрики работают на западный рынок, и партнерство с Россией может быть для них риском. То же справедливо и для иностранных компаний, взаимодействующих с российской электронной промышленностью: Россия составляет 1–2% мирового рынка готовой электроники и всего 0,1–0,2% от рынка микросхем. Уйти с такого рынка большинству производителей проще, чем решать возникающие репутационные и санкционные проблемы. Об уходе из России уже объявили Intel, AMD, NVIDIA, крупнейший поставщик промышленных чипов Infineon и другие компании. Многие сделали это несмотря на то, что их продукция не попадает под санкции, из которых исключена потребительская электроника, такая как компоненты для компьютеров и телефонов.

Экосистема разработки микросхем

Современная разработка микросхем — это сильно автоматизированный процесс, обеспечиваемый сложным американским программным обеспечением. Фабрика предоставляет описания стандартных элементов технологии, библиотеки с цифровыми вентилями, память и другие базовые блоки, а дизайнеры компании сначала создают электрическую схему или ее логическое описание на специальном языке проектирования аппаратуры, внешне похожем на высокоуровневый язык программирования, после чего преобразуют это описание в топологию — по сути, послыйный набор рисунков того, как физически должен выглядеть кристалл. Топология проверяется на соответствие правилам проектирования, также предоставленным фабрикой, после чего из нее делаются шаблоны для фотолитографии.

Разделение труда не заканчивается на линии «разработка-производство». Микросхему надо еще и продать — а для этого нужно понять, какие именно микросхемы востребованы. Организация серийного производства, маркетинг, техподдержка — это очень большие задачи, которые в России часто недооценивают. Поэтому разработка разделилась на две ветки — создание готовых продуктов и запчастей для них. В каждой микросхеме есть какая-то особенная функциональность, но очень многие блоки одинаковые, и их можно переиспользовать из проекта в проект. Такие блоки в индустрии принято называть IP-блоками (от англ. intellectual property, «интеллектуальная собственность»), и спрос на такие блоки настолько высок, что с годами сформировался целый рынок и множество компаний, не производящих собственные продукты, а делающих базовые блоки для них. Самая известная из таких компания — британская ARM, создающая микропроцессорные ядра и лицензирующая их сотням компаний по всему миру. Например, ядра ARM стоят в 99% смартфонов.

В итоге многие разработчики микросхем могут себе позволить купить большую часть строительных блоков, потратив собственные силы и время только на то, что они умеют лучше всего и что делает их продукт уникальным. В некоторых случаях, впрочем, уникальность продукта может быть не в каком-то дополнительном блоке, а в знании,

какая именно комбинация блоков будет хорошо продаваться. Классический пример такого подхода — российская компания «Байкал электроникс», в сжатые сроки выпустившая несколько хороших продуктов в том числе благодаря широкому использованию купленных на стороне IP.

Контрактные фабрики, в свою очередь, не тратят силы и средства на дизайн множества микросхем, а занимаются только улучшением производственного процесса. При этом они не разрабатывают производственное оборудование сами, а покупают его, собирая свой уникальный маршрут при помощи доступных на рынке элементов. Стоимость отдельных станков легко может составлять десятки или даже сотни миллионов долларов, а необходимый уровень инвестиций для разработки этих станков таков, что конкурентам приходится объединяться в отраслевые консорциумы, чтобы профинансировать такие проекты. Например, долями в крупнейшем разработчике ASML в один из периодов одновременно владели Intel, Samsung и TSMC.

Технологическое оборудование не ограничено литографией — машины для травления, имплантации, напыления и других операций тоже сложны и дороги, хоть и менее интересны широкой аудитории. Квaziмонополия голландской компании ASML в литографии относительно на слуху, но и во всех остальных технологических операциях поставщиков можно пересчитать на пальцах — LAM Research, Applied Materials, Tokyo Electron и несколько других компаний, исключительно американских и японских. Дальше в цепочке поставок следуют многочисленные субподрядчики. Например, некоторые части для оптических систем ASML предоставляет немецкая компания Carl Zeiss, источники излучения — американская Sumet.

Электротехническая промышленность является наиболее динамично развивающейся отраслью экономики в мире. Большая часть продукции отрасли является наукоемкой и имеет высокую добавленную стоимость. Развитие электротехнической промышленности и электронной индустрии способствует научно-техническому прогрессу, быстрому внедрению научных разработок, развитию научно-производственной базы и привлечению высококвалифицированных специалистов. Поэтому развитию данной отрасли во многих странах мира придают приоритетное значение.

В 2019 году на мировом рынке различных электронных устройств, по видам продукции распределились следующим образом: мобильные устройства – 32%, компьютеры и серверы – 31%, бытовая электроника – 12%, промышленная электроника – 12%, автомобильная электроника – 12%.

Элементной базой электронных устройств являются микросхемы, в том числе компоненты микроэлектроники. Рынок торговли микросхемами считается самым быстрорастущим и за последние 5 лет вырос на 42%.

При этом мировой рынок микроэлектроники практически монополизирован 12 крупнейшими компаниями, которые производят, в том числе, более 70% микросхем. К числу таких компаний относятся Intel (США) – выручка от продаж микроэлектроники составляет 75 млрд. долл., Samsung (Южная Корея) – 75%, Hynix (Южная Корея) – 35 %, TSMC (Тайвань) – 35 %, Micron (США) – 30 %, Qualcomm (США) – 16 %, Broadcom (США) – 16 % Далее следуют еще 5 компаний из США, одна японская и одна тайваньская. При этом тайваньские компании являются контрактными подрядчиками. Так, Qualcomm,

Broadcomm, NVIDIA и AMD не имеют собственных производств, а выпускают свою продукцию на фабриках тайваньских компаний, в том числе TSMC.

Таким образом, основную долю производства контролируют американские и корейские компании. При этом территориально на Тайване находятся 22%, в Южной Корее 21%, Японии 17%, США и Китае по 13%, Европе 6% мирового производства микросхем.

Экспортерами и импортерами интегральных схем и электронных компонентов выступают практически одни и те же страны (Китай, государства ЕС, Сингапур, США, Южная Корея, Тайвань и др.). На 15 лидеров в области экспорта и импорта интегральных схем и компонентов приходится 97-98% всей торговли. Это говорит об очень высокой концентрации производства электронных компонентов и взаимозависимости производителей. В указанных странах производятся различные электронные устройства, которые собираются из электронных компонентов (микросхем) и которые они поставляют друг другу.

Бельгийский инновационный центр Imec уже давно считается мировым лидером в индустрии полупроводников. Именно исследования Imec по субнанометровым конструкциям, широкозонным полупроводникам, новым типам межсоединений становятся вектором движения мировой микроэлектроники на ближайшие десятилетия. Подтверждая действие закона Мура об удвоении количества транзисторов каждые два года, специалисты Imec считают, что требуемые вычислительные мощности для искусственного интеллекта и машинного обучения удваиваются каждые шесть месяцев. Ранее Imec сформировал и создал техническую базу для перехода от транзисторных структур FinFET к нанолитовой структуре GaaFET и переходу к 1-нм технологии. По мере приближения к этому рубежу специалисты стали заглядывать дальше этой психологической черты и формулировать пути движения к 0,2 нм до 2036 года, что и было представлено на презентации Imec в мае.

По мнению Imec, стандартные FinFET-транзисторы будут работать до 3-нм технологии, а в 2024 году начнется внедрение новой нанолитовой GAA-технологии в массовое производство 2-нм чипов. Технология GAA способствует повышению плотности транзисторов и увеличению производительности, используя тот же ток управления, что и несколько FinFET-транзисторов. Автор статьи полагает, что специалистам бельгийского центра хорошо известно, что GAA-конструкция транзисторов уже применяется в 3-нм техпроцессе Samsung, но они подразумевают полный переход всех компаний на эту конструкцию на процессе 2 нм. Кроме того, транзисторы GAA значительно уменьшают утечки благодаря каналам, полностью окруженным затвором.

Согласно дорожной карте Imec, через несколько лет произойдет переход на транзисторы forksheet, более плотную версию GAA на самом базовом уровне, затем транзисторы примут эстафету от 2-нм и продлятся до 0,7-нм конструкции. В дальнейшем Imec ожидает, что новая технология FET (CFET), которая появится примерно в 2028 году, еще больше сократит площадь транзистора и позволит создавать более плотно упакованные библиотеки стандартных ячеек. В конструкции CFET NMOS- и PMOS-транзисторы располагают один над другим, чтобы обеспечить более высокую плотность и меньшие размеры. Последующие поколения будут охватывать версии CFET с атомарными

каналами, что значительно повысит производительность и масштабируемость при достижении уровня 0,5 и 0,2 нм.

С ростом объемов производства растут показатели экспорта электротехнической продукции, которые за последние три года выросли на **31,6%**, при этом экспорт бытовой техники вырос более чем в **2,2** раза.

Наиболее быстрыми темпами растет экспорт бытовой техники, объем которой за 10 месяцев текущего года вырос почти в **2** раза по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

География экспорта электротехнической продукции с каждым годом расширяется. В настоящее время более 100 видов электротехнической продукции экспортируется в 54 стран, новыми рынками сбыта стали Китай, ОАЭ, Латвия, Литва, Молдова.[7]

Литература

1. Production Forecasts for the Global Electronics and Information Technology Industries. JEITA. December 18, 2019.

2. Production Forecasts for the Global Electronics and Information Technology Industries. JEITA. December 16, 2020.

3. Die globale Elektroindustrie — Daten, Zahlen und Fakten. ZVEI. August 2020.

4. Welt-Elektromarket — Ausblick bis 2021. ZVEI. August 2020.

5. TrendForce: Полупроводниковые исследования // Режим доступа: <https://www.trendforce.com>.

6. Полупроводники (мировой рынок) // Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/index.php>.

7. Лабутина Э. В. Сотрудничество Республики Корея и США в области инновационных технологий // Корееведение в России: направление и развитие. 2022. Т. 3. № 3. С. 109–113.