



## СТУПЕНИ МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ ЛЕСТНИЦЫ

Андрей ВАГАНОВ

DOI: 10.7868/50233361923010019

“Энергия: экономика, техника, экология” 1'2023

“В последние 50 лет геополитику определяло то, где находятся нефтяные резервы. В следующие пять десятилетий важнее станет то, где будут расположены предприятия по производству чипов”, – заявил главный исполнительный директор Intel Corp. Пэт Гелсингер в конце октября 2022 г. на технологической конференции, организованной The Wall Street Journal.

Глава Intel был одним из главных сторонников принятого в США в июле 2022 года законопроекта Chips and

Science Act, предусматривающего выделение 52 млрд долларов на исследования и разработки (R&D), а также развитие производства полупроводниковых компонентов внутри страны. В соответствии с новыми мерами экспортного контроля, о которых объявили США в начале октября прошлого года, чипы для высокопроизводительных вычислительных систем, суперкомпьютеров и систем искусственного интеллекта (AI), произведенные с использованием американских технологий, могут продаваться в Китай

только при наличии отдельной лицензии на экспорт. “Я считал это неизбежным с учётом геополитики. Именно из-за этого ребалансировка цепочек поставок столь важна”, – подчёркивал Гелсингер.

Ещё жестче, – и ещё раньше, – была заявлена позиция Соединенных Штатов относительно сдерживания развития электронной техники и полупроводниковых технологий в России. В начале января 2022 года, перед российско-американскими переговорами по гарантиям безопасности, агентство Associated Press (AP) сообщало, что в дополнение к санкциям в отношении энергоносителей и потребительских товаров США и их союзники рассматривают возможность введения запретов на экспорт в Россию передовых электронных компонентов, программного обеспечения и сопутствующих технологий, в которых используется американское оборудование.

AP отмечало тогда, что возможности РФ по получению интегральных схем и продукции, содержащей интегральные схемы, будут серьезно ограничены из-за глобального доминирования американского программного обеспечения, технологий и оборудования в этом секторе. Воздействие, прогнозировало AP, может распространиться на авионику, станки, смартфоны, игровые приставки, планшеты и телевизоры. “Такие санкции могут также быть нацелены на важнейшую российскую промышленность, включая ее оборонный сектор и сектор гражданской авиации, что

ударит по амбициям России в области высоких технологий, будь то в области искусственного интеллекта или квантовых вычислений”, – констатировало AP.

Всё это к тому, что стратегическое отставание отечественной микроэлектронной промышленности стало важнейшим политическим фактором, определяющим место и роль России в мире. И этот gap (зазор) в микроэлектронике не компенсируешь никакими бомбами и гиперзвуковыми ракетами. Санкционное давление на РФ в этом сегменте оказывается даже более критично, чем при строительстве “Северного потока – 2”.

Сейчас в производстве чипов доминируют азиатские компании – тайваньская TSMC, южнокорейская Samsung, китайская Huawei. Принципиально важен технологический аспект: производство чипов у этих лидеров переходит на топологию 7, 5 и даже 2 нанометра (нм).

Сейчас в производстве чипов доминируют азиатские компании – тайваньская TSMC, южнокорейская Samsung, китайская Huawei. Принципиально важен технологический аспект: производство чипов у этих лидеров переходит на топологию 7, 5 и даже 2 нанометра (нм). В России же более или менее освоен масштаб 90 и 60 нм.

В России же более или менее освоен масштаб 90 и 60 нм. Так, в 2021 году как о большом достижении российский институт развития ВЭБ.РФ объявил о запуске нового производства микросхем с топологией 130–90 нм на заводе “Ангстрем-Т” в Зеленограде.

Возможно, здесь возникает естественный вопрос: зачем нужна топология 7 и 5 нанометров? Может быть, есть предел, за которым уже нет смысла дальнейшей миниатюризации? “Это принципиально важно, – уверен авторитетный отечественный эксперт по стратегической аналитике Сергей

Карелов. – Речь идёт не о размере. Речь идёт о производительности. Чем плотнее упаковка, чем меньше нанометров, тем производительнее получается чип. Всё, что сейчас есть в искусственном интеллекте, всё что сейчас есть в высокой компьютерной графике, в любом суперкомпьютинге и в центрах Big Data – это всё самые производительные чипы”.

Такова внутренняя логика развития микроэлектронной отрасли: через несколько ступенек здесь не прыгнешь, чтобы добраться до 7, 5 и 2-нанометровой топологии в производстве чипов, придётся пройти все промежуточные этапы. Компенсировать разрыв возможно только за счёт ускорения темпов – не задерживаться долго на одной технологической ступеньке.

Именно поэтому сенсационно выглядит опубликованная на специализированном портале ixbt.com статья, в которой утверждается, что “Институт прикладной физики РАН создаёт первый отечественный литограф для производства микроэлектроники по современным техпроцессам. “Альфа-машина” должна появиться в 2024 году”.

Литограф – это ключевое, хотя и далеко не единственное, звено в производстве чипов. Электромагнитный луч вырисовывает на “вафле” (wafer) – диске из чистейшего кремния, умопомрачительное количество необходимых электронных компонентов. Чем острее луч, тем плотнее упаковка компонентов. О том, насколько “высока” эта высокая технология говорит, например,

такое сравнение: острота луча уже двадцать лет назад была такова, что позволяла “нарисовать” с орбиты Земли десятицентовую монету, лежащую на поверхности планеты.

Но сейчас разработана технология так называемого EUV – экстремального ультрафиолета. К ней пока даже сравнения подобрать трудно. Достаточно сказать, что одна литографическая машина для производства чипов по технологии EUV состоит из более чем 100 тысяч деталей и поставляется заказчиком в сорока грузовых контейнерах. Фактически, это полноценный завод. В мире сейчас есть только одна фирма – в Нидерландах, ASML, которая может производить машины EUV. Заказы расписаны на два года вперёд...

До сегодняшнего дня в России не было собственного литографического оборудования. Достигнутый топологический масштаб в 90–65 нм достигнут на оборудовании американской компании AMD. Но тут удивляться нечему: более 80% нашего IT-оборудования (по некоторым позициям – до 100%) – импорт. И это уже – устаревшее оборудование. Если не технически, то морально. И вдруг...

«В Институте прикладной физики Российской академии наук (ИПФ РАН) ведётся разработка первой отечественной установки литографии для производства микроэлектроники по современным технологическим процессам.

Сейчас создан демонстрационный образец, который разработчики называют “прототип прототипа”. На этой

Литограф – это ключевое, хотя и далеко не единственное, звено в производстве чипов. Электромагнитный луч вырисовывает на “вафле” (wafer) – диске из чистейшего кремния, умопомрачительное количество необходимых электронных компонентов. Чем острее луч, тем плотнее упаковка компонентов.

установке получены отдельные изображения на подложках с разрешением до предельных 7 нм, – отмечается в статье на ixbt.com. – Мировой технологический лидер в литографии компания ASML использует систему EUV-литографии уже около 20 лет. Специалисты отмечают сложность данной технологии плюс большие размеры используемого ультрафиолетового источника излучения. У иностранцев фотолитография заточена под массовое производство очень больших объёмов. В России стоит задача не захватить мировой рынок, а первоначально обеспечить запросы своего.

Поэтому для российского проекта важно качество. Российские физики уже в этом плане создали демонстратор технологии на другом источнике излучения – рентгеновском. При этом наш источник излучения в разы компактнее и чище в работе, что значительно влияет на стоимость, размеры и сложность оборудования. Оптическая система демонстратора, собранная в ИПФ РАН, уже превосходит все аналоги, существующие в мире на сегодняшний день. А на выходе при равной мощности оборудованию ASML источника излучения российская установка будет в 1.5–2 раза эффективнее того, что создано мировым лидером».

Сообщается также, что уже к 2026–2028 году «российский литограф получит более мощный источник излучения, улучшенные системы позиционирования и подачи, станет работать быстро и точно». То есть, получается, что тот

самый скачок через несколько технологических ступенек в производстве микрочипов, можно считать проблемой почти решённой.

Специалист по полупроводникам из крупного московского НИИ, к которому мы обратились с просьбой прокомментировать эту информацию, на условиях анонимности заявил: «В этом сообщении больше пиара. Но, с другой стороны, если люди работают в этом направлении – пусть работают. А вдруг получится...»

А вот доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН Дмитрий Квон был предельно откровенен: «Они пишут: “А на выходе при равной мощности оборудованию ASML источника излучения российская установка будет в 1.5–2 раза эффективнее того, что создано мировым лидером”. Это враньё».

Между тем правительство России действительно прилагает систематические усилия, чтобы решить проблему “чиповой достаточности” отечественной экономики. Так, государство в 2023 году планирует увеличить финансирование госпрограммы “Развития электронной и радиоэлектронной промышленности”. Так, государство в 2023 году планирует увеличить финансирование госпрограммы “Развития электронной и радиоэлектронной промышленности” по сравнению с текущим годом в 1.8 раза – до 71 млрд рублей с 39.3 млрд рублей, следует из пояснительной записки к проекту бюджета на предстоящую трехлетку. Увеличены ассигнования “на предоставление субсидий российским организациям на финансовое обеспечение части затрат на создание электронной компонентной базы и модулей в связи с уточне-

Правительство России действительно прилагает систематические усилия, чтобы решить проблему “чиповой достаточности” отечественной экономики. Так, государство в 2023 году планирует увеличить финансирование госпрограммы “Развития электронной и радиоэлектронной промышленности”.

нием прогноза потребностей со стороны получателей” (рост на 12.98 млрд рублей в 2023 году, на 12 млрд рублей в 2024 году, на 7.6 млрд рублей в 2025 году относительно предыдущей трехлетки).

Правительство РФ будет ежегодно выделять субъектам дополнительные средства на развитие в стране собственной электронной индустрии. “Для этого мы запустим дополнительную меру – поддержим старт новых проектов в промышленных технопарках, выделим российским субъектам специальные субсидии на софинансирование их расходов по формированию профильной инфраструктуры”, – заявлял премьер-министр РФ Михаил Мишустин на совещании с вице-преьерами. Он отметил, что сумма

Правительство РФ будет ежегодно выделять субъектам дополнительные средства на развитие в стране собственной электронной индустрии.

составит до 300 млн рублей в год для каждого региона, который представит свои проекты на отбор: “Эти средства позволят снизить затраты управляющих компаний технопарков и, соответственно, предложить бизнесу более благоприятные условия, облегчить формирование на таких территориях центров технологических компетенций, коллективного проектирования и дизайна, а значит – расширить мощности для подготовки и выпуска прототипов”.

Общий объём финансирования новой программы в 2023–2025 годах составит 7,2 млрд рублей, говорится в сообщении на сайте правительства. Субсидии будут выделяться в рамках государственной программы “Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности”. Мишустин также отметил, что “благодаря такой помощи в ближайшие семь лет появится не

менее 150 тысяч квадратных метров современных производственных площадей и до трех тысяч рабочих мест”.

Сообщалось также, что после введения рядом стран антироссийских санкций Минпромторг предложил направить 70–100 млрд рублей на закупку через Фонд развития промышленности комплектующих, электронной компонентной базы, сырья, материалов для производства российской радиоэлектронной продукции.

Кстати, в этом контексте отнюдь неслучайным выглядит то, что новым президентом Российской академии наук 20 сентября 2022 года был выбран академик Геннадий Красников, специалист именно в прикладной науке, в полупроводниковых технологиях. А, кроме того, генеральный директор

АО “НИИ молекулярной электроники”, председатель совета директоров ПАО “Микрон” и председатель совета директоров АО “НИИ точной механики”.

И все-таки, насколько реальна “литографическая” революция, которую, вроде бы, уверенно прогнозируют в Институте прикладной физики РАН: «В 2024 году должна быть готова “альфа-машина”. Уже с этого момента установка станет рабочим оборудованием и будет рассчитана на проведение полного цикла операций».

«Здесь есть два аспекта, – поясняет Сергей Карелов. – Первый – чисто технологический, а второй – экономический и логистический в то же время.

Что касается технологии. Предполагается, что предложено некое замечательное изобретение, которое позволяет перепрыгнуть через несколько поколений литографической техники.

«Здесь есть два аспекта, – поясняет Сергей Карелов. – Первый – чисто технологический, а второй – экономический и логистический в то же время.

---

В основе – отказ от ультрафиолета и использование рентгеновского излучения.

Наиболее близкая аналогия здесь – авиация, “Боинги” и “Аэробусы”. Такого рода самолёты производят всего две компании мира – Boeing и Airbus. А литографическое оборудование – всего одна компания в мире. И поэтому утверждение, что мы готовы это сделать, – неважно за сколько лет, – это равносильно тому, если мы скажем, что сейчас можем сделать машины, которые будут соответствовать нынешним поколениям самолётов Boeing и Airbus, но они будут на ионных двигателях летать... Если кто-то не делал такие самолёты ни прошлого, ни позапрошлого поколения, но обещает, что сделает самолёт будущего поколения, двигатель у которого будет не реактивный, а ионный... На это можно только пожать плечами».

То есть, с технологической точки зрения, производители могут обещать что угодно. Однако законы технической реальности быстро приземляют полёт фантазии. И пример замечательной эйнховенской компании ASML, на литографическом оборудовании которой сегодня работает весь полупроводниковый мир, в этом смысле более чем доказательный.

«Вы знаете, сколько они вложили в создание такого производства с середины 1990-х? – 60 миллиардов долларов своих денег, – поясняет Сергей Карелов. – Сейчас компания стоит около 200 миллиардов долларов. И они создавали это, – технологию “экстремальный ультрафиолет”, EUV, – десять лет. Одна такая литографическая ма-

шина стоит 150 миллионов долларов. Сама “машинка” отгружается заказчику на 20-ти грузовиках, четыре Боинга ее транспортируют. Количество различных запатентованных технологий, помимо самого EUV, составляет 250. При этом, собираются эти “машинки” в уникально чистых помещениях: это самые чистые сейчас помещения в мире, – в десять тысяч раз чище, чем наружный воздух».

Не надо забывать и о логистике производственного процесса: из чего всё это литографическое оборудование состоит. Собственно литография – это всего лишь один из примерно 50-ти этапов технологических производств. «Представим себе, что мы построили сейчас такую чудо-машину (не понятно за счёт чего, но построили). Но пробле-

«В 2024 году должна быть готова “альфа-машина”. Уже с этого момента установка станет рабочим оборудованием и будет рассчитана на проведение полного цикла операций».

ма заключается в том, что надо заводы строить по производству микросхем, а не просто литографические машины. Ведь литография только позволяет “нарисовать” вафлю. А дальше нужны заводы. Литографическое оборудование не производит микросхем», – напоминает Сергей Карелов. И тут вступают в игру геополитические расчёты.

На данный момент, около 25% мирового производства в целом и более 90% – высокопроизводительных чипов занимает тайваньская компания TSMC. Всего три фирмы в мире являются такими контрактными производителями: Samsung, Intel и TSMC. И эти микросхемы они делают на голландских литографических EUV-машинах. “На TSMC делают свои чипы все, начиная от Apple до Nvidia, – подчеркивает Карелов. – И вот сейчас амери-

канцы пытаются увести хотя бы часть этих заводов. Вопрос – какова стоимость этого переноса? То есть, сколько стоит полный цикл производства микросхем, а не только литографической его части. Такие расчёты сделаны: 1.2 триллиона долларов единовременно и плюс по 125 миллиардов ежегодно в течение десяти лет”.

Вспомним еще раз выступление главного исполнительного директора Intel Пэта Гелсингера на технологической конференции WSJ. Он, в частности, акцентировал внимание на том, что в 2021 году Intel объявила о намерении выделить порядка 95 млрд долларов на строительство предприятия по выпуску чипов в Европе, а в январе 2022 года сообщила, что направит не менее 20 млрд на строительство завода в американском штате Огайо. По словам Гелсингера, цель этих шагов – наращивание производства микросхем в западных странах, чтобы сократить долю выпуска чипов в Азии с нынешних 80% до 50% к концу десятилетия. В частности, 30% производства должно приходиться на США и 20% – на Европу, заявил глава Intel. “Мы все будем чувствовать себя лучше, если это получится”, – резюмировал он.

Наконец, во всей этой истории с рентгеновской революцией в литографии микрочипов, технологический фактор очень сильно зависит (а может быть, даже определяется) экономическим компонентом. Сергей Ка-

релов поясняет: “Дело заключается в том, что в этой статье есть фраза, которая раскрывает весь секрет. Они заявляют, что, мол, мы не собираемся производить микрочипы для всего мира, а в ограниченном количестве, на этой литографической машине, мы сможем их произвести, чтобы обеспечить внутренние нужды. Это означает, что повторяется точно такая же история, которая была всегда в Советском

Союзе со всей электроникой: мы производили всё в ограниченных сериях – для оборонки, для специальных целей. Но как только у вас серия становится такой маленькой, ограниченной, то литографическая машина, которая стоит 150 миллионов у голландцев, у нас будет стоить 15 миллиардов.

Это означает, что даже если все технологические и логистические чудеса у вас случаются одновременно, экономически это будет абсолютно неоправданно. И это никому не нужно. Это старый трюк”.

То есть в данном случае нужно идти поэтапно в технологическом развитии. И это – комплексная задача. Хороший пример её решения демонстрирует Китай. Китайцы поставили задачу перейти от 7-нанометровых технологий на 5- и 2-нанометровые. К 2030 году они собираются у себя сделать полный цикл такого производства. При этом уже сейчас в год у них возникает тысяча компаний, которые работают на решение этой задачи.

Дело заключается в том, что в этой статье есть фраза, которая раскрывает весь секрет.

Они заявляют, что, мол, мы не собираемся производить микрочипы для всего мира, а в ограниченном количестве, на этой литографической машине, мы сможем их произвести, чтобы обеспечить внутренние нужды. Это означает, что повторяется точно такая же история, которая была всегда в Советском Союзе со всей электроникой: мы производили всё в ограниченных сериях – для оборонки, для специальных целей.