

# 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



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

**Япония привлекает передовые зарубежные технологии и компании и планирует утроить объемы полупроводникового производства и стать четвертой страной в мире, освоившей 1-нм технологию. Несмотря на санкции США, китайская полупроводниковая отрасль достигает хороших результатов по новым технологиям и по движению к технологическому суверенитету для зрелых технологий 28 нм и выше. Поиски альтернативы Китаю как мировой производственной площадке продолжаются. Индия стремится стать такой альтернативой, но даже при благоприятных условиях это потребует громадных инвестиций и более 10 лет. Россия без развитой экономики и микроэлектроники проваливается и переписывает долгосрочные программы развития, но его все равно нет.**

### Япония стремится вернуть свое электронное величие

В 1970-е гг. в период экономического расцвета страны Япония была мировым лидером в электронике, а ее корпорации Sony, Panasonic, Mitsubishi и другие олицетворяли передовой уровень мирового развития электроники и проводили экспансию и расширение своего производства во всем мире. За прошедшие десятилетия Япония растеряла былое величие, в том числе и за счет практически не менявшейся организации и структуры этих многоукладных корпораций, не соответствующих требованиям нового времени. В 2020 году Япония обладала долей всего 10% в мировых полупроводниках, отставая от США, Китая и европейских стран, но стремится вернуться на прежние позиции. В текущих условиях это уже невозможно без помощи передовых государств и транснациональных компаний. Поэтому, как и США и Европа, японское правительство приняло решение субсидировать развитие отечественной полупроводниковой промышленности и выделило для этого \$13,4 млрд. на ближайшие два года [1]. Вероятнее всего, со временем эта сумма будет увеличена. Часть средств будет предоставлена мировым компаниям для строительства в Японии современных заводов по производству полупроводников. Например, компания TSMC уже строит завод для выпуска чипов по технологиям 16–28 нм и начала монтаж оборудования и получит поддержку в \$3,2 млрд. [2]. По соседству компания возведет еще одно предприятие по технологии 5 нм, которое должно быть запущено в 2025 году. По неофициальной информации, TSMC сообщила своим партнерам по цепочке поставок, что обдумывает строительство третьего завода по технологии 3 нм под кодовым названием TSMC Fab-23 Phase 3 стоимостью \$20 млрд. в южной японской префектуре Кумamoto [3]. В этих решениях крайне важно то, что Япония является мировым лидером в производстве многих материалов для микроэлектроники, уже сейчас адаптированных к техпроцессам 2–5 нм. Поэтому нового массового строительства подобных заводов в Японии не потребует. Реализация таких грандиоз-

ных планов за столь короткий срок не только станет большой победой японского правительства, но и однозначно увеличит ее долю в мировом полупроводниковом производстве. К 2030 году Япония планирует утроить объемы полупроводникового производства и достигнуть 1 трлн. иен (\$112,55 млрд) [4]. Американской Micron Technology уже одобрены субсидии от японского правительства в размере \$1,29 млрд. на модернизацию своего завода по производству памяти DRAM в Хиросиме [5].

Известный японский производитель автомобильной электроники компания Denso, являющаяся поставщиком Toyota, в последние годы расширяет свой бизнес по выпуску чипов. С этой целью и после проблем с поставками полупроводников во время ковидной эпидемии Denso решила самостоятельно проектировать полупроводниковые компоненты и напрямую работать с производителями чипов. Это новая тенденция в стратегии многих автомобильных компаний, в том числе Volkswagen, Ford, GM и других. Denso инвестирует \$3,3 млрд. в кремниевые фабрики и планирует к 2036 году утроить свой бизнес по их изготовлению [6]. Ее партнером являются Japan Advanced Semiconductor Manufacturing (JASM) с заводом, который строят TSMC и Sony, где она будет владеть 10% акций. В прошлом году Denso также заключила сделку с United Semiconductor Japan (USJC) о сотрудничестве в производстве IGBT на 300-мм заводе USJC. Именно здесь Denso планирует размещать заводы по выпуску своих продуктов.

Но Япония не ограничивается выпуском продукции по зрелым технологиям и пытается использовать международные конфликты США и Тайваня с Китаем для развития суперсовременных технологий и производств в своей стране. С этой целью был создан консорциум Rapidus с финансированием несколькими крупными японскими корпорациями проекта стоимостью \$35 млрд. для выпуска в Японии к 2027 году продуктов по 2-нм технологии GAAFET [7]. Компания IBM уже предоставила Rapidus данную технологию. Но на этом уровне Rapidus останавливаться не собирается и провела переговоры с французским исследовательским институтом Leti об освоении к началу следующего десятилетия 1-нм технологии

[8]. Leti будут помогать две ведущие инновационные мировые полупроводниковые компании — американская IBM и бельгийский институт Imec. И это очень серьезная заявка Японии на совершение технологического прорыва, поскольку ранее не было прецедента с одновременным участием этих трех ведущих мировых инновационных корпораций в освоении суперсовременной технологии. Если эти планы реализуются, то Rapidus присоединится к мировой лидирующей технологической тройке TSMC, Samsung и Intel, а Япония станет четвертой страной в мире, которая освоит 1-нм технологию.

Тайваньская компания Powerchip совместно с японской финансовой фирмой SBI Holdings планируют строительство нового совместного завода стоимостью \$5,4 млрд. [9], где будут выпускаться микроконтроллеры и микросхемы для систем управления питанием современных автомобилей. С правительством Японии ведутся переговоры о предоставлении субсидий в размере \$2,8 млрд.

Два промышленных гиганта Японии — компании Toshiba и ROHM, подтвердили новое партнерство для увеличения производства силовых полупроводников для электромобилей на заводах, которые они строят в префектурах Исикава и Миядзак. Стоимость проекта составляет 380 млрд. иен, а японское правительство предоставит субсидии в размере 120 млрд. иен (\$830 млн) [10]. Кроме того, ROHM заявляет, что до 2027 года инвестирует 510 млрд. иен в свой бизнес по выпуску карбида кремния.

Страна восходящего солнца отчетливо понимает, что в условиях возможного военного конфликта Китая с Тайванем с участием США ее страховочная роль резко возрастает и стремится максимально воспользоваться ситуацией. Но вследствие своего экономического уровня и себестоимости производства Япония не может быть альтернативой Китаю, и ее статус — страхование, а по возможности и достижение технологического уровня Тайваня. И в этом ее интересы совпадают с международными корпорациями и США, что становится важным фактором успеха.

### Станет ли Индия новым Китаем в полупроводниковом производстве?

Санкционные войны между США и Китаем не только не утихают, но и приобретают необратимый характер. Ограничения на все, что связано с полупроводниковым производством, плавно переносятся с технологий менее 14 нм на зрелые техпроцессы до 28 нм. Это вынуждает американские и международные компании отказаться не только от строительства новых заводов на территории Китая, но и от модернизации уже существующих и попадающих под ограничения, и корпорации начинают поиск альтернативных стран для таких проектов. И судя по предпринимаемым действиям, наиболее подходящими становятся Малайзия и Индия. Малайзия все последние десятилетия была во втором эшелоне азиатского полупроводникового производства и в большей степени специализировалась на сборке чипов. В производстве чипов можно выделить только компании Siltrix, располагающей технологиями 130–220 нм, приобретение которой несколько лет назад рассматривала «Росэлектроника», и более технологически консервативный завод компании XFAV, ранее приобретенный у Первой малайзийской фабрики. В отличие от малайзийского соседа Сингапура, в Малайзии мало филиалов крупных международных компаний по выпуску оборудования и сервиса в области полупроводников. Но похоже, что в связи с санкционными ограничениями Малайзия становится более привлекательной для мировых компаний. Компания Infineon объявила об инвестициях в размере \$5 млрд. в расширение производства карбида кремния в малайзийском Кулиме. Компания ROHM открыла в октябре в своей дочерней компании в Малайзии завод по изготовлению интегральных микросхем драйверов для силовой электроники IGBT- и SiC-транзисторов [11]. Ранее в марте 2022 года компания также открыла в малайзийском Келантане завод стоимостью \$217 млн., занимающийся выпуском диодов. Впрочем, Малайзия никак не может стать альтернативой Китаю из-за несопоставимого размера тер-

ритории страны, населения, квалификации кадров и невозможности создания глобальной перспективной полупроводниковой экосистемы. То же самое и даже в большей степени относится и к Вьетнаму.

Более привлекательной в долгосрочном плане представляется Индия, все это время находившаяся в глубокой тени Китая. За последнее десятилетие правительство Индии неоднократно предпринимало не очень удачные попытки привлечь зарубежные компании в полупроводниковый сектор страны, но это не подкреплялось соответствующими предложениями для них и отсутствием хорошей экосреды для полупроводникового производства. В декабре 2021 года, в разгар пандемии, правительство Индии сообщило о планах выделения \$10 млрд. для развития полупроводниковой отрасли и даже объявило конкурс. Хотя что это за сумма на фоне \$43 и \$52 млрд. от правительств Евросоюза и США и сотен млрд. инвестиций частных компаний, да еще на волне суверенизации производства! Ни одна из крупных мировых компаний не выразила желания принять участие, и только Tower Semiconductor заявила о возможных планах в Индии. Но затем было объявлено о покупке израильского чипмейкера компанией Intel, и все остановилось, даже не начавшись. Теперь в связи с ограничениями по Китаю ситуация изменилась и международные компании обратили более пристальный взор на Индию. Мировой лидер полупроводникового машиностроения американская компания Applied Materials объявила об инвестировании \$400 млн. в создание инжинирингового центра в Бангладоре по разработке и коммерциализации технологий для полупроводникового оборудования. В течение пяти лет инвестиции составят \$2 млрд. [12]. Конкурент Applied Materials американская Lam Research планирует инвестиции в центр обучения кадров в Индии. Программа нацелена на обучение 60 тыс. индийских инженеров нанотехнологиям в течение ближайших 10 лет [13]. Американская Micron Technology намерена построить сборочный и испытательный центр в штате Гуджарат и вложить \$825 млн. в два этапа в течение нескольких лет с созданием 5 тыс. новых рабочих мест [14]. Совокупные затраты на строительство завода составят \$2,75 млрд., и остаток суммы профинансируют правительства Индии и штата. Первая очередь производства будет введена в эксплуатацию уже в конце 2024 года. Microchip также запускает инвестиционную программу на \$300 млн. в свои объекты и создание научно-исследовательских центров в Индии [15].

Тайваньский гигант контрактной электроники Foxconn сообщил о намерении построить в индийском штате Карнатака полупроводниковый завод и вложить в него \$1 млрд. [16]. Цель — снижение зависимости от китайских поставщиков, поскольку ее ключевой клиент Apple испытывает давление со стороны правительства США, чтобы разорвать связи с Пекином. Foxconn собирает около 70% iPhone и является крупнейшим контрактным производителем Apple. Сборка самих телефонов также планируется за пределами Китая. Ранее Foxconn сообщал о некоторых полномасштабных проектах и инвестициях в Индии.

Однако, по мнению некоторых экспертов, с которыми согласен и автор статьи, инвестиции в производство и развитие экспорта таят риски, не предусматривающие роста внутреннего рынка потребления в самой Индии. Автор статьи много раз писал о китайских программах развития электроники от простого к сложному и локализации производства полупроводников в Китае. Развитие электронной промышленности в Китае начиналось с отверточного производства потребительской электроники, автомобилей и другой продукции — для их обеспечения и происходила локализация выпуска электронных компонентов и блоков в Китае. Эти производства работали как для внутреннего, так и экспортного рынка и диверсифицировали риски, связанные с экспортной зависимостью отрасли. Именно разумное сочетание выпуска товаров для внутреннего потребления и экспорта позволило Тайваню и Китаю избежать резких провалов в периоды мировых кризисов и сохранить свою экосистему в электронике [17]. Благодаря этому электронная промышленность Китая также не погибла под жестким санкционным давлением США. Китай располагает большим количеством собственных торговых марок электроники, выпускаемых для внутрен-

него рынка и экспорта, в которых используются китайские полупроводники. В Индии подобные условия отсутствуют, и создание соответствующей экосреды займет 10–15 лет даже при благоприятной международной обстановке. Параллельно с ростом производства в Индии должна развиваться сфера проектирования и разработки полупроводниковых продуктов, сервиса, продаж, центров поддержки и выпуска огромной номенклатуры материалов, использующихся в производственных процессах. Даже при ускоренном развитии таких программ это займет длительное время и потребует гигантских инвестиций. Правительство Индии и близко не располагает необходимыми финансами, а значит, основным должен быть вклад международного капитала. Международная политическая ситуация сейчас сильно отличается от 1990-х гг., когда Китай начинал свое экономическое восхождение и ему не пришлось политически маневрировать между США, Европой, Россией в выборе тактики. В новых условиях Индии придется неоднократно делать сложный выбор под давлением США. Одно можно прогнозировать безошибочно: успешное развитие этих программ с американскими компаниями приведет к дальнейшему охлаждению уже и так наблюдающемуся в последние годы в отношениях между Индией и Россией. К сожалению, наша страна не может предложить Индии альтернативы даже в менее наукоемких отраслях, а пик продаж Индии российских вооружений давно прошел, вина на чем лежит и на нашей стране. В 2023 году продажа нефтегазовых продуктов в Индию столкнулась с серьезными проблемами из-за оплаты в рупиях, а не в твердой валюте и побавила оптимизма в политике разворота на Восток. Индийская валюта оказалась никому не нужна и к тому же не может быть выведена за пределы страны. Индия постарается по максимуму использовать появляющийся шанс и развивать экономические отношения с США и Европой.

### Санкционная война США и Китая продолжается

Похоже, противостояние между США и Китаем, проявляющееся в санкционных ограничениях Поднебесной и перетекающее в политические войны, начинает затрагивать все возможные аспекты отношений. Отсутствие приемлемой платформы для договоренностей не позволяло провести встречи президентов двух стран даже на таком удобном форуме, как саммит G20. За первую половину 2023 года импорт чипов из США в Китай упал на 22%, а полупроводникового оборудования — на 23% [18]. Союзники США, Тайвань и Южная Корея, сократили импорт соответственно на 40% и на треть. Еще в 2019 году монополист в производстве суперсовременных литографических скане-

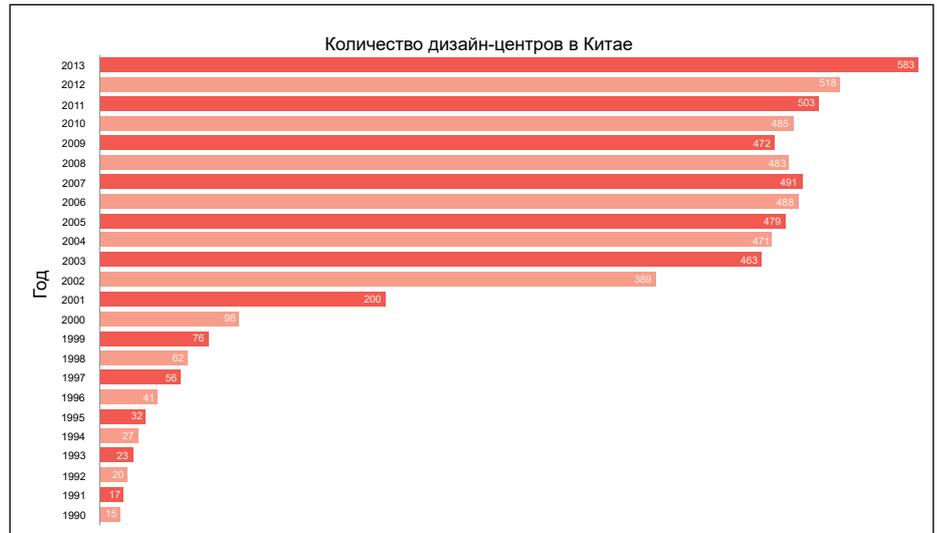


Рис. 1. Сумма выручки и капитальных расходов компании SMIC в 2018–2023 гг

ров, европейская компания ASML, прекратила поставку в Китай EUV-оборудования, но под давлением США с 1 сентября ввела санкции на менее современные, но активно востребованные на китайском и мировом рынке DUV-сканеры для зрелых техпроцессов. Это затронет по крайней мере три иммерсионные DUV-модели TWINSCAN NXT:2000i, NXT:2050i и NXT:2100i [19]. Американские компании пытаются модифицировать некоторые свои продукты для Китая, чтобы вывести их из-под санкционных ограничений, но в ответ правительство США еще больше расширяет санкционные списки. Руководители американских корпораций обеспокоены этими действиями, которые сильно ударяют по ним, и прилагают усилия по выравниванию ситуации. В июле генеральные директора трех крупнейших корпораций США, Nvidia, Intel и Qualcomm, встречались с некоторыми руководителями администрации Белого дома и Совета по национальной безопасности, чтобы обсудить эту проблему, но серьезных договоренностей не достигли [20]. Китай предпринимает успешные шаги для расширения внутреннего производства аналогов санкционных товаров и компенсирования этих запретов, о чем речь пойдет далее. У Китая не так много вариантов ответных ограничений для США, но он начинает использовать все способы. Один из них — саботаж возможных покупок и поглощений американскими компаниями зарубежных предприятий, где требуется одобрение китайских антимонопольных органов. По этой причине Intel была вынуждена отказаться от покупки израильского чипмейкера Tower Semiconductor, что было анонсировано в 2022 году. В течение полутора лет китайские органы делали вид, что анализируют сделку, но фактически саботировали ее и никакого решения не выносили. В результате обе компании приняли решение отказаться от нее и Intel еще должен вы-

платить Tower компенсацию \$353 млн. [21]. Китай также ввел санкции на экспорт галлия и германия, по которым доля Китая на мировом рынке составляет 80–90% и 60% соответственно [22]. Все китайские поставщики данных материалов должны будут получать экспортные лицензии, что сильно усложнит их поставки в США и другие страны. Уже в августе это привело к росту цен на галлий на мировом рынке на 50% [23]. Военное ведомство США как главный бенефициар продукции, изготавливаемой с применением галлия, стало искать решение, которое видится в его извлечении из вторичного сырья, возобновлении производства в Германии, прекращенного в 2016 году, и использовании ресурсов Японии и Южной Кореи [24]. В ноябре Китай ввел на два года ограничения на экспорт редкоземельных материалов, по которым он контролирует около 70% мирового рынка. В декабре правительство Китая ввело экспортный контроль на лазерные радары, дроны и биотехнологическую продукцию.

Тем не менее США пересматривают в некоторых областях свою санкционную политику по отношению к Китаю. В 2022 году США ограничили через ежегодное получение лицензий возможность поставки азиатскими компаниями на их заводы в Китае оборудования, комплектующих, произведенных в США. В текущем году компаниям Samsung, SK Hynix, TSMC разрешили это делать на неопределенный срок без специальных лицензий [25]. Но в других областях, например для искусственного интеллекта, требования к компаниям, имеющим зарубежные подразделения, наоборот усиливаются для исключения поставок компонентов в Китай. Китай также ослабил давление на компанию Micron, чью продукцию ранее признал угрозой национальной безопасности. Ближайшее будущее покажет, приведет ли к прорыву состоявшаяся недавно встреча президентов двух стран.

## Может ли Китай стать самодостаточным в полупроводниковой микроэлектронике?

Более 20 лет автор настоящей статьи следит за полупроводниковой промышленностью Китая и может оценить важные этапы ее развития. На этом промежутке времени китайское правительство четко определяло основные цели и задачи и их последовательность. На первом этапе главным было создание стратегического трезубца: инвестиции, технологии, рынки сбыта. Эту триединую задачу невозможно было решить без привлечения иностранного капитала. И в 1990–2000-х гг. ее последовательно реализовывали, привлекая иностранный капитал вначале для строительства заводов по сборке, а затем и по производству чипов и платин, включая весь ассортимент применяемых материалов. Параллельно на базе иностранных технологий под государственным крылом создавались чисто китайские компании и заводы, перенимавшие их и совершенствующие свои продукты и технологии.

На следующем этапе Китай самостоятельно стал создавать широкую сеть дизайн-центров и преуспел в этом. За короткий промежуток времени, с 2000 по 2013 год, их количество выросло с 98 до 583 (рис. 1) [26]. К 2013 году 12,2% этих центров (71 шт.) уже могли проектировать изделия по передовым на тот период процессам 90 нм и менее. С 2015 по 2017 год число таких предприятий увеличилось с 736 до 1780. Затем используя самые передовые программные средства проектирования, китайские специалисты очень быстро научились не только разрабатывать микросхемы по технологиям 28–14 нм, но и создавать продукты по 7–5 нм с размещением их производства на TSMC. Эти изделия стали локомотивом для быстрого развития приборов коммуникации и их выхода на мировые конкурентные рынки, где многие годы задавали тон Apple, Samsung и другие компании. Но после введения санкций США правительство Китая стало выделять субсидии разработчикам, и количество дизайн-центров лавинообразно выросло, причем многие из них являлись фальшивыми [27]. Правительству пришлось провести чистку и выделить современных, а фальшивые просто разорились.

Однако все эти десятилетия Китай безнадежно отставал в одном секторе и не мог обеспечить предприятия отечественной продукцией. В секторе полупроводникового оборудования для сборки, тестирования и особенно для производства чипов безраздельно главенствовали американские, европейские, японские и южнокорейские компании. Поэтому практически все китайские заводы, работающие с пластинами 200 мм и особенно 300 мм, были оснащены оборудованием и программными средствами данных стран. Но начиная с 2010-х гг. в Китае стали появляться национальные компании по разработке и производству оборудования сборки, те-

стирования и изготовления вначале более простых чипов дискретных приборов и микросхем на пластинах 150 мм, а затем и самых сложных на 200- и 300-мм пластинах и в сложных корпусах. Сейчас Китай выпускает почти все типы оборудования для зрелых технологий более 28 нм, а также некоторые виды для 14-нм процесса и 3D-сборки. Особенно ускорился процесс вывода такого оборудования на китайский рынок после начала санкционной войны США. Как сообщают некоторые китайские издания, до конца 2023 года компания SMEE выпустит на рынок первую китайскую литографическую систему для технологии 28 нм [28]. Следует отметить, что ранее, в 2020 году, начать выпуск этой системы планировали в конце 2021-го, но очевидно, что ее создание связано с определенными трудностями. Успехи Поднебесной в секторе полупроводникового оборудования впечатляют. По некоторым данным, за последние два года самообеспеченность китайским оборудованием удвоилась и достигла 40%, а по термическим окислительным и напылительным процессам превысила 50% [29]. Передовые китайские компании по производству оборудования более 10% своих доходов направляют на НИОКР по разработке нового оборудования. Однако в Китае используется много передового зарубежного оборудования, доступ к обслуживанию которого и к комплектующим и запчастям усложнился из-за санкций. Китайское правительство и частные компании отреагировали на это выпуском запчастей в Китае, что значительно подрывает эффективность санкций.

Продажи 146 китайских полупроводниковых компаний, зарегистрированных на бирже в период с января по июнь 2023 года, снизились на 7% и составили 220,1 млрд. юаней. Совокупная чистая прибыль упала на 58%, до 15,3 млрд. юаней [30]. Но почти 80% этих компаний увеличили свои инвестиции. Продажи компании SMIC за первое полугодие 2023-го упали на 13% в годовом исчислении, а чистая прибыль — на 52%, но расходы на исследования и разработки выросли на 5%. В третьем квартале выручка SMIC сократилась на 15%, а прибыль на 80% в сравнении с аналогичным кварталом 2022-го.

В области разработки микросхем в Китае совокупные продажи снизились более чем на 10% как у 42 зарегистрированных на бирже полупроводниковых компаний, проектирующих цифровые продукты, так и у 32 компаний, разрабатывающих аналоговые изделия. Но в секторе продаж оборудования для производства микросхем ситуация противоположная. У 17 таких компаний совокупные продажи выросли более чем на 30%, а чистая прибыль превысила 60%. Ограничения со стороны США и других стран на экспорт производственного оборудования в Китай привели к росту продаж оборудования отечественных производителей. Этому способствует и серьезная господдержка от китайского правительства. Но Китай продолжает также активно покупать импортное оборудование. В ожидании нового ужесточе-

ния санкций к концу года в Китае резко вырос импорт оборудования для производства чипов. В октябре он составил \$4,3 млрд. и увеличился на 80% в сравнении с октябрём 2022-го, когда он достиг \$2,4 млрд. [31]. В то же время импорт полупроводников в Китай за 11 месяцев 2023 года снизился на 16,5%, до \$316,6 млрд., в сравнении с предыдущим годом. South China Morning Post сообщает, что в ноябре 2023-го таможенные органы Китая сообщили о росте стоимости импорта литографического оборудования из Нидерландов от компании ASML на 1050% [32]. Китай импортировал 16 единиц литографического оборудования из Нидерландов на сумму \$762,7 млн. в месяц. Это в десять раз больше, чем в прошлом году. Всего в ноябре Китай импортировал 42 системы литографии на сумму \$816,8 млн., из которых 15 систем из Японии производства Canon и Nikon.

Не менее впечатляющим является прорыв лидера китайской полупроводниковой отрасли госкомпании SMIC в освоении современной технологии 7 нм, доступ к которой США уже несколько лет пытаются закрыть для SMIC всеми возможными способами. В 2022 году компания TechInsights, вскрывающая корпуса и анализирующая технические уровни самых разных современных микросхем, опубликовала информацию, что SMIC применяет 7-нм техпроцесс для производства чипов микросхемы для майнинга биткоина [33]. Элементы микросхемы оказались схожи с чипами, изготовленными по этому процессу в TSMC. Однако на критических слоях тайваньская компания применяет литографию EUV с длиной волны 13,5 нм, а SMIC — процесс DUV на 193 нм. Последний процесс значительно более трудоемкий на критических слоях и требует многократного экспонирования с потерей выхода годных. Но очевидно китайскому лидеру сейчас это не столь важно и необходимо показать всему миру, что компания своего добьется и за ценой не постоит. Как утверждает EETimes, SMIC находится на пути к реализации технологии 5 нм без применения EUV и в ближайшие несколько лет достигнет этого рубежа [34].

Но, по мнению автора настоящей статьи, показать принципиальную возможность достижения чего-либо, не означает создания сейчас серийноспособной и экономически выгодной технологии. Этот процесс в первую очередь необходим для производства конкурентных на гражданских рынках изделий коммуникационного направления. Прикратно более высокой себестоимости таких микросхем конечное изделие может быть неконкурентным. Но в случае применения данного процесса для военного и космического рынков это будет оправданным. Но в настоящее время компания Huawei, ушедшая с рынка смартфонов в 2020 году после отказа TSMC из-за санкций США, выпустила три новых 5G-смартфона с использованием чипов Kirin 9000, изготовленных по 7-нм процессу в SMIC. Новый чип Huawei, по заключению TechInsights, состоит из четырех высоко-

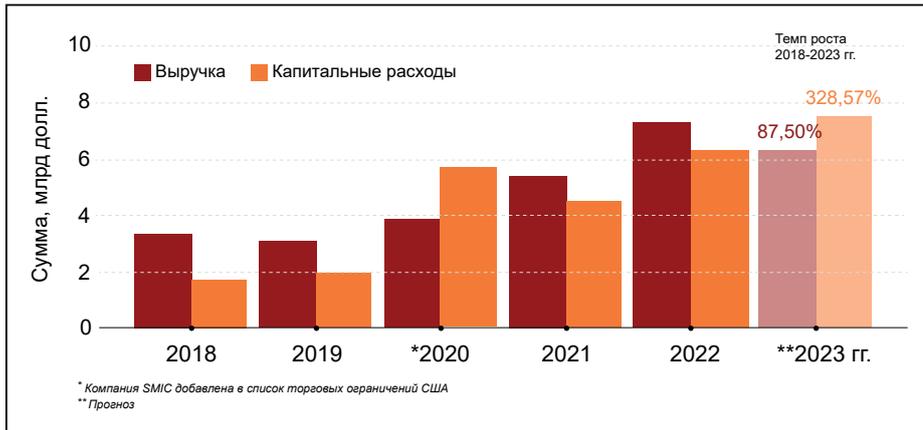


Рис. 2. Сумма выручки и капитальных расходов компании SMIC в 2018–2023 гг

производительных ядер, четырех энергоэффективных ядер и графического процессора Maleoon 910 и, скорее всего, построен на основе Armv8a ISA [35]. Сообщается, что в Kirin 9000S чип модема монтируется поверх чипа цифрового и графического процессора для экономии места на материнской плате. Кроме того, ядра процессора и графического процессора в микросхеме 5G работают на относительно низких тактовых частотах по сравнению с частотами ядер ARM, представленных в предыдущих поколениях SoC и разработанных HiSilicon — собственным полупроводниковым подразделением Huawei. По заключению аналитиков SMIC, удалось создать процесс первого поколения «N + 1» TSMC, построенный на основе более старой технологии литографии в глубоком ультрафиолетовом диапазоне (DUV). Для Huawei эта возможность SMIC сейчас единственная, чтобы вернуться на рынок 5G-смартфонов. Некоторые источники в Китае утверждают, что выход годных по данной технологии в SMIC составляет 70% и более, но подтверждений этому нет. Японские аналитики полагают, что выход годных не превышает 50%. Время и рыночная ситуация с конкурентностью продукции покажут, достиг ли Китай своей цели.

Однако важно и то, что SMIC переманил более 250 специалистов TSMC, а одним из ее генеральных содиректоров является бывший специалист TSMC Лян Монг Сон (Liang Mong-song), ранее подозреваемый в передаче технологических секретов TSMC его ближайшему конкуренту Samsung. Сама компания Samsung в последние годы все чаще звучит в южнокорейской уголовной хронике как пострадавшая сторона от передачи китайцам промышленных секретов ее бывшими сотрудниками, особенно по микросхемам памяти.

В передаче секретной технической информации, которая могла позволить SMIC и Huawei создать Kirin 9000S, подозревается и бывший сотрудник компании ASML, который перешел работать в Huawei [36]. То есть у SMIC есть знания, но нет подходящих инструментов для оптимального освоения этого процесса. На следующих этапах развития технологии SMIC

придется делать более сложный выбор между доходностью и амбициями. Но, скорее всего, это будет не их выбор, а политическое решение в правительственных кабинетах.

Впрочем, очень быстро новость об освоении SMIC техпроцесса 7 нм ушла на второй план после появления сообщений, что Huawei представила еще более продвинутую версию мобильного процессора Kirin 9006C, изготовленного по 5-нм процессу [37]. Huawei анонсировала серию ноутбуков Qingyun L540 с применением Kirin 9006C, разработанного HiSilicon. Пока есть только информация по архитектуре процессора, представленная Huawei, но нет подробностей по технологии его изготовления, в первую очередь от сторонних компаний типа TechInsights. У многих экспертов и пользователей возникают сомнения в том, что Kirin 9006C изготовлен по 5-нм технологии или, возможно, это чипы, полученные ранее от TSMC до введения санкционных ограничений. Только профессиональный послойный анализ (decapsulation) процессора может дать частичный, но не полный ответ на поставленный вопрос. SMIC имеет установку DUV-литографии ASML Twinscan NXT:2000i с разрешением ≤ 38 нм, но для ее использования в 5-нм процессе приходится применять на критических слоях 3–5-кратное нанесение,

обработку маскирующих слоев и экспонирование вместо однократного, что сильно сокращает выход годных, производительность и стоимость чипов. По мере снижения проектных норм количество критических слоев резко возрастает, а при использовании 3 нм большинство литографических слоев переходят в эту категорию. Именно поэтому передовые мировые компании применяют оборудование EUV-литографии для подобных процессов. Министерство торговли США утверждает, что процессор Kirin 9000S, изготовленный SMIC по 7-нм процессу, похож на Kirin 9000 производства TSMC 2020 года с использованием технологии N5, но обладает меньшей производительностью, а сам смартфон Huawei Mate 60 менее конкурентен, чем продукция Apple [38]. У США есть сомнения не только в экономике, но и в способности SMIC производить необходимое количество данных чипов. Пока это выглядит логичным, но бездоказательным. Фактом и одной из причин большого прорыва SMIC является резкий рост капитальных затрат на новые технологии в 2018–2023 гг., почти в 4 раза превышающих темпы роста ее продаж в этот период (рис. 2). Уже после того, как настоящая статья была отправлена в редакцию, появилось сообщение, подтвердившее предположения экспертов, что в ноутбуке Qingyun L540 компании Huawei использован процессор Kirin 9006C не от SMIC, а от TSMC, изготовленный еще в 2020 году. [39]. По заданию Bloomberg та же компания TechInsights произвела закупку ноутбука Huawei, провела анализ процессора Kirin 9006C и подтвердила это. Формально правительство Китая и Huawei не делали никаких громких заявлений и как бы не причастны к гипотезам о его производстве в SMIC, но очевидно, что такой вброс без их участия или согласия не состоялся бы. Появились даже подозрения в нарушении TSMC санкций в отношении Huawei. Но, понимая механизм и процедуру принятия и исполнения таких заказов, автор исключает подобную возможность. В них задействовано очень много исполнителей всех уровней с соответствующими процедурами иденти-

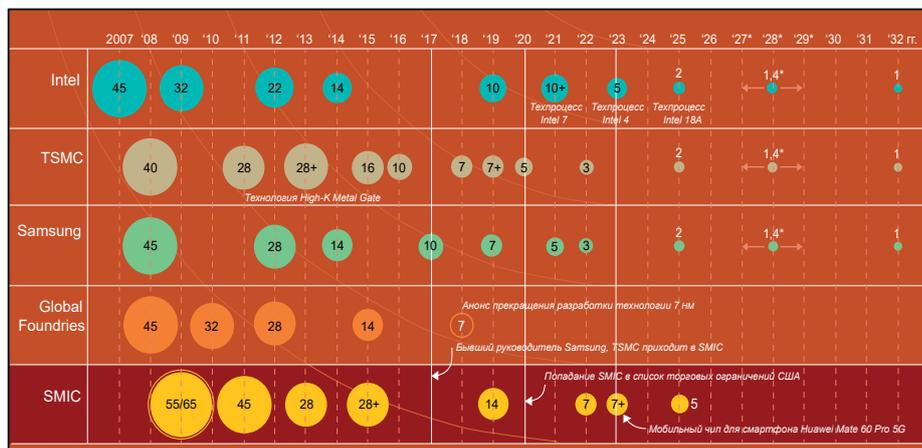


Рис. 3. Эволюция разработки полупроводниковых технологий различными мировыми компаниями в 2007–2032 гг.

фикации персонала, а также применяемого комплекта фотомасок, и скрыть такое невозможно. К тому же цена таких нарушений для TSMC, ее руководства и специалистов чрезвычайно высока. Именно поэтому практически все случаи уголовных злоупотреблений связаны с действиями бывших сотрудников и уволенных одиночек по передаче документации, составляющей коммерческую тайну.

В средствах информации появились сообщения, что SMIC упорно работает над 3-нм технологией с применением DUV-оборудования. Если не оценивать экономические показатели и конкурентность, в последнее время SMIC исторически отстает от TSMC на две технологические генерации или в среднем на четыре года (рис. 3). Но, очевидно, для процессов 3 нм и менее отсутствие EUV-оборудования станет критическим фактором для освоения экономически выгодной технологии, и отставание будет увеличиваться. А для процессов менее 2 нм потребуется EUV-оборудование с высокой числовой апертурой. Но это не мешает китайским властям в политических целях декларировать принципиальное достижение результата, но не через громкие заявления политиков, а организовав информационные утечки.

Со второй половины 2022 года Китай стал ощущать санкционные ограничения на программные инструменты проектирования изданий по передовым процессам, которые в подавляющем большинстве предоставляются зарубежными странами. TrendForce прогнозирует, что, несмотря на ограничения, не оказавшие в краткосрочной перспективе немедленного значительного влияния, они создадут долгосрочные проблемы для Китая при внедрении более продвинутых процессов и разработке следующего поколения чипов, предназначенных для высокопроизводительных вычислений и искусственного интеллекта. Обновление программ проектирования происходит постоянно, в том числе и для 7–10-нм процессов, что позволяет улучшать параметры, выход годных и качество вновь осваиваемых продуктов.

В любом случае, обращает на себя внимание линия поведения китайских компаний и властей по работам с передовыми технологиями, по которым ужесточаются санкции США. Китайцы не дают никакой предвдательной информации (особенно с пропагандистским уклоном) до и во время выполнения этих работ, опасаясь нанести вред таким работам и результатам со стороны американских регулирующих органов и их союзников. На веб-сайте разработчика 28-нм литографического оборудования компании SMEE даже отсутствует раздел новостей, и сами работы не анонсируются. Китайцы презентуют уже достигнутые результаты, которые становятся сюрпризом для всех. Не обходится и без политических странностей вокруг SMEE. 20 декабря один из ее акционеров, государственная компания Zhangjiang Group сообщила о реальном создании 28-нм сканера, но спустя несколько часов после роста акций

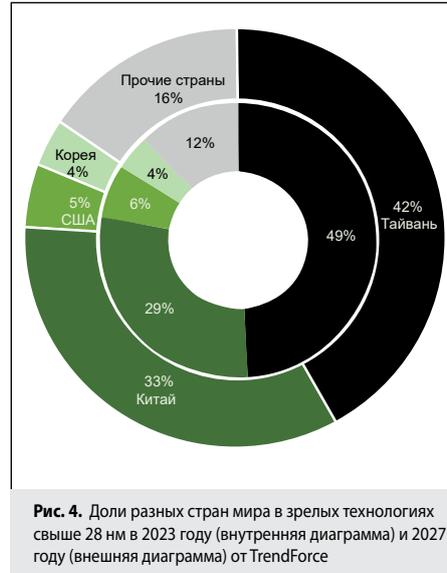


Рис. 4. Доли разных стран мира в зрелых технологиях свыше 28 нм в 2023 году (внутренняя диаграмма) и 2027 году (внешняя диаграмма) от TrendForce

SMEE на 8% удалила этот пост [40]. Сама SMEE пока ничего не анонсирует и не подтверждает. Но нет сомнений, что эта задача будет решена, особенно учитывая способность китайцев за очень большие зарплаты привлекать зарубежных специалистов.

Но китайская тактика отличается от российской, когда главным становится декларация работ еще до их начала, а не сам итог. В нашей стране про него потом забывают и умалчивают результаты, или списывают все на внешние факторы. Основной целью является пропаганда, что ограничения других стран нам не мешают, а результат становится вторичным.

Китайские власти понимают и уязвимость своей полупроводниковой отрасли в том, что только одна компания SMIC обладает передовыми техпроцессами менее 14 нм. В связи с этим в решении выделить компании HLMC, используя специальный фонд, финансирование для разработки и освоения технологии 10 нм нет ничего удивительного [41]. HLMC входит в холдинг Hua Hong Group, созданный ранее при поддержке японской компании NEC и развивавшийся при технической поддержке Infineon, и присутствует в топ-6 мировых контрактных производителей чипов. Несколько лет назад автор статьи встречался в Шанхае с техническим топ-менеджером компании Hua Hong Group и готов подтвердить их высокий уровень. Вызывает удивление сумма госинвестиций в ранее казавшемся большим размере \$1 млрд. при уровне продаж всей Hua Hong Group в третьем квартале 2023 года \$766 млн. Очевидно, проект не предполагает строительства нового завода с оснащением санкционным оборудованием, а ограничится частичным доукомплектованием оборудованием существующего производства, иначе стоимость была бы намного больше. Это подчеркивает серьезность намерений китайских властей в достижении практических результатов и увеличении количества национальных компаний, освоивших самые современные

технологии, а также в первостепенной важности полупроводниковой отрасли для всей китайской экономики.

Председатель КНР Си Цзиньпин регулярно подчеркивает важность того, чтобы Китай стал самодостаточным в области полупроводников. С этой целью в Китае создан инвестиционный фонд в размере 300 млрд. юаней (\$40 млрд), заметно превосходящий предыдущие аналогичные фонды 2014 и 2019 гг. в 138,7 и 200 млрд. юаней соответственно [42]. Одним из основных направлений этих инвестиций, по-видимому, станет оборудование для производства микросхем. Местные органы власти также выделяют субсидии своим полупроводниковым компаниям. В 2020 году руководство провинции Гуандун запустило первую фазу субсидий в размере \$1,3 млрд., а в настоящее время открыло вторую фазу в \$1,5 млрд. [43].

Очевидно, в самом ближайшем будущем Китай сможет достигнуть технологической независимости для зрелых процессов 28 нм и более и максимально продвинуться в суверенизации 14-нм технологии. Однако решение этой задачи для 7 нм и ниже сейчас невозможно. И главным препятствием будет именно производство сложного оборудования, в первую очередь EUV-литографии. У автора нет сомнений, что перед китайскими специалистами поставлена задача создания EUV-оборудования, но при таком современном оборудовании гигантской стоимостью почти \$340 млн., а для EUV-оборудования с высокой числовой апертурой более \$500 млн., у компании ASML несколько сотен узкопрофессиональных поставщиков комплектующих из разных стран мира. Некоторые комплектующие, и в первую очередь источники света из США, уникальны, и их поставка жестко контролируется. Воспроизвести и заместить их в ближайшее время сложно, даже получив промышленные секреты через бывших сотрудников ASML.

Но у Китая есть альтернативный вариант сокращения отставания, не связанный с чиповой технологической и очень дорогой субнанометровой гонкой. Он связан с развитием концепции «Большее, чем Мур» и применением современной технологии 3D-чиплетной сборки. Используемое там оборудование значительно дешевле, а техпроцессы проще. Кроме того, инвестиции в разработку этой технологии и оборудования и сроки меньше, и они под силу китайской отрасли. А конечный итог будет близким. Возможно, и здесь Китай в скором времени преподнесет сюрпризы.

Можно также предсказать рост консолидации, поглощений и укрупнений в китайской полупроводниковой промышленности и уход с рынка многих мелких и средних компаний. Такие процессы всегда происходят в период рыночной турбулентности и нестабильности или взрывного роста рынка, и Китай не исключение.

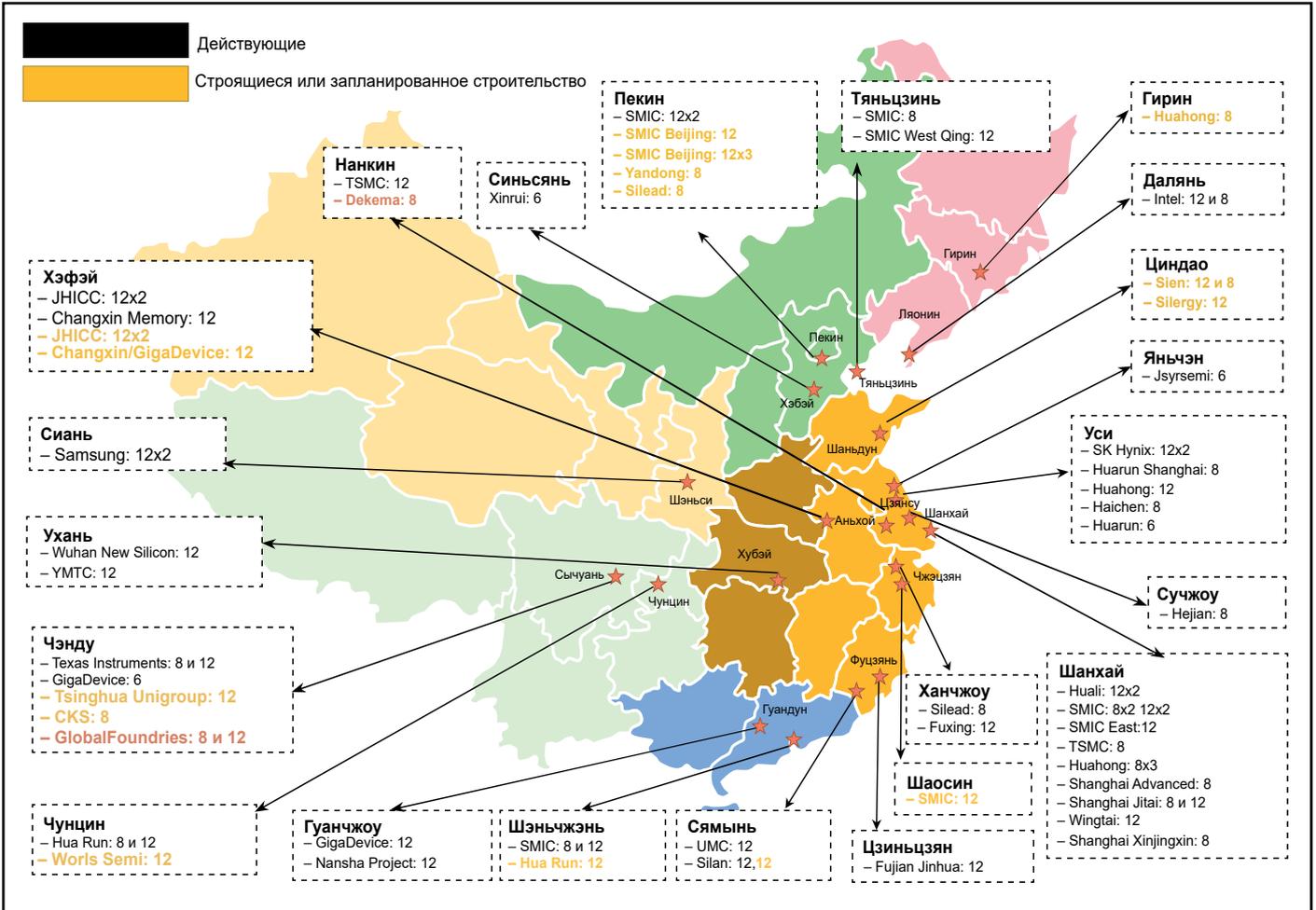


Рис. 5. Действующие, строящиеся и запланированные фабрики по производству чипов в Китае твч чипов в Китае

## Расширение мощностей по зрелым технологиям цможет иметь и отрицательные последствия

Усиление санкционных ограничений в отношении Китая и их расширение на более зрелые технологии свыше 14 нм привело к тому, что Китай стал активно развивать мощности заводов по техпроцессам от 28 нм и выше, на которые санкции не распространяются. Увеличение производственных мощностей по зрелым техпроцессам в мире, и особенно в Китае, может иметь и некоторые отрицательные последствия для рынка в краткосрочной и долгосрочной перспективе. По прогнозу исследовательской компании TrendForce, благодаря господдержке мировая доля Китая в зрелых технологиях более 28 нм, массово применяемых для изготовления автомобильных чипов и датчиков изображения, с 2023 по 2027 год вырастет с 29 до 33%, а по Тайваню упадет с 49 до 42% (рис. 4) [44]. В Китае лидерами этого сектора продукции являются SMIC, Hua Hong Group и Nexchip, а в Тайване — UMC, PSMC, Vanguard и другие. Масштабное расширение мощностей может наводнить мировой рынок зрелыми процессами, потенциально разжигая це-

новую войну. С развитием в Китае зрелых технологических мощностей тенденции локализации производства драйверов IC, CIS/ISP и дискретных источников питания будут становиться все более выраженными. Этому способствуют программы стимулирования китайского правительства и китайские гиганты смартфонов OPPO, Vivo и Xiaomi. По мере того, как китайские компании начнут сокращать существующий разрыв с тайваньскими, в краткосрочной перспективе первыми начнут ощущать ценовое давление тайваньские компании, располагающие только производствами на 200-мм пластинах, такие как PSMC, Vanguard. В долгосрочной перспективе проблемы возникнут у UMC, GlobalFoundries, обладающих 300-мм заводами. С одной стороны, по законам рыночной экономики такая конкуренция приводит к оптимизации ценообразования продукции и исключению монополизации и росту цен. Но, с другой стороны, мировая электронная промышленность, в отличие от некоторых других отраслей, всегда была инновационной и конкурентной и ценовые войны могут разрушить ее основы и привести к дестабилизации.

В настоящее время в Китае работают и реконструируются 44 фабрики по производ-

ству чипов, и ожидается, что в ближайшие пять лет Китай запустит в эксплуатацию еще 24 фабрики по выпуску 300-мм пластин, в основном ориентированные на зрелые техпроцессы с планируемой ежемесячной мощностью 2,223 млн. пластин (рис. 5) [45]. Текущий уровень загрузки фабрик составляет 54,48%. Если предположить, что все запланированные заводы по изготовлению 300-мм пластин выйдут на полную мощность, то к концу 2026 года общая ежемесячная мощность производства 300-мм пластин в Китае превысит 4,14 млн. пластин, что на 248,19% больше по сравнению с текущим уровнем загрузки. Такие мощности могут оказаться избыточными и в первую очередь пострадают многие 200-мм азиатские фабрики, в том числе и китайские.

Такие же процессы будут происходить и в сфере производства дискретных полупроводников, транзисторов MOSFET и IGBT и солнечной энергетики. Подобной точки зрения придерживаются и аналитики исследовательской компании IDC, а в процессах 7 нм и менее за счет ввода в эксплуатацию в США заводов TSMC, Samsung, Intel они ожидают роста доли США к 2027 году до 11% (рис. 6) [46]. Но здесь, в отсутствие конку-

ренции Китая, названные компании будут конкурировать только между собой.

**А где Россия в микроэлектронике? Там же, где и в экономике**

При сравнении китайских и российских достижений в полупроводниковой отрасли, автора давно не покидает ощущение, что Россия пустила под откос как минимум последние 30 лет своей истории не только в микроэлектронике, но и в экономике в целом. Триллионы долларов, вырученные от продажи сырья и углеводородов, были растрачены и ушли не на развитие страны, а на ее исторический откат назад по всем направлениям и полное уничтожение перспективы на многие десятилетия. Практически все страны бывшего соцлагеря (Китай, ГДР, Восточная Европа, Вьетнам и т.д.) за эти годы полностью исторически опровергли основной тезис неудачливых реформаторов Ельцина, Чубайса и др., что невозможно было преобразовать страну без полного разрушительного слома экономической и политической системы страны в 1990-е гг. По этой причине, а также благодаря политике последних 20 лет сейчас Россия осталась наедине с Северной Кореей, Кубой, Ираном и некоторыми другими одиозными режимами, не имеющими ни микроэлектроники, ни приемлемой экономики. В странах бывшего G8 только Россия выделялась слабой микроэлектроникой, а все страны с сильной многоукладной экономикой имеют конкурентную полупроводниковую отрасль на мировом уровне по выпускаемой продукции. Имея сырьевую базу по всей таблице Менделеева, наша страна не смогла стать ни «энергетической сверхдержавой» (как ее когда-то позиционировал президент) и даже не сумела хотя бы повторить экономические результаты сырьевых государств: ОАЭ, Катара, Кувейта, Саудовской Аравии и других. Власти нашей страны не смогли и не захотели также применить лучшее из экономического опыта Китая и все время ссылались на особый путь развития России, который они так и не нашли и не применили. Регулярно возникающая риторика об импортозамещении очень быстро сходит на нет из-за отсут-

ствия сколь-нибудь осязаемых результатов или приводит к созданию аналогов морально устаревших простых продуктов 15–20-летней давности, все еще применяемых в нашей аппаратуре. В России сейчас финансовые средства в отрасли направляются не на создание новых производственных мощностей и их модернизацию и технологическое совершенствование, как во всем мире, а на увеличение выпуска устаревшей продукции для текущих целей на имеющихся площадках. Но микроэлектроника не та отрасль, в которой можно отчитаться статистикой Росстата об увеличении финансирования и выпуска устаревшей продукции, а все современное покупать за рубежом. Разработка и выпуск новых ИЭТ, особенно высокой сложности, изготавливаемых на зарубежных фабриках, остановлены из-за ограничения доступа к ним и невозможности обновления зарубежных программных средств, используемых для проектирования. Разрекламированные ранее «Эльбрусы», «Байкалы», созданные именно с помощью всех этих возможностей, как минимум поставлены на паузу. Сохраняется теоретическая возможность их изготовления на подходящих китайских фабриках, но такие небольшие объемы заказов (но кажущиеся большими с нашей стороны) малоинтересны SMIC с коммерческой точки зрения и ставят ее под удар более жестких повторных санкций. Поэтому такое решение придется принимать в китайских правительственных кабинетах, и, скорее всего, китайцы всеми способами будут затягивать его принятие. Это следует иметь в виду российским специалистам и чиновникам, проявляющим излишний оптимизм насчет Китая. Предлагаемые некоторыми «экспертами» варианты их переработки для российских фабрик на 65-м процесс автор даже комментировать не будет из-за их абсурдности и непрофессионализма. Сменившие их предложения по организации производства этих изделий на несуществующей 28-м российской фабрике ничем не лучше первоначальных. А сама эта фабрика стала очередным многолетним миражом, хотя теоретически она может быть частично оснащена китайским оборудованием, если Китай далеко продвинется в этой области и захочет

его поставлять. Но, кроме оборудования, нужны современные техпроцессы, сверхчистые материалы, кадры и др., отсутствующие в нашей стране. В связи с сильным ослаблением рубля техническое обновление даже через закупки китайского оборудования в юанях для большинства российских предприятий стали непосильными. Финансируемые государством работы по созданию новых литографических систем, новых технологий, материалов и программных средств носят больше имитационный характер, имеют целью показать, что мы вот-вот прорвем блокаду изоляции, но в отличие от Китая у них мало шансов даже на частичный успех. Ничто не появится из ничего, поскольку даже наличие фундаментальных исследований без целого комплекса материалов, комплектующих, квалифицированных кадров, частного капитала и опыта многочисленных ошибок недостаточно для положительного результата. Бездействие в течение 30 лет не проходит бесследно. Частный капитал и опыт передовых зарубежных стран это наглядно показывает. Но Европа, Америка и Китай нам не указ. Но до какого уровня мы дошли, если заброшенные предприятия LG, Samsung в России по выпуску бытовой техники собираются покупать не наши, а частные компании из санкционного Ирана, планирующие завоевать российский рынок своей продукцией и заменить южнокорейские фирмы [47]? А где собственное хваленое импортозамещение? И почему китайцы не торопятся дешево покупать? Или все ожидают, когда государство бесплатно национализирует заводы? Но такие игры бизнеса с нашим государством всегда плохо заканчиваются для бизнеса. Полагаю, и китайцы, и наш бизнес это хорошо понимают.

Много лет автор высказывает критические замечания по действиям (бездействиям) российских властей для развития экономики и микроэлектроники в стране за последние 20 лет. У наших властей никогда не было никакой стратегии по развитию в стране ни одной сферы, будь то наука, экономика, политика и т.д. Бессменная власть привыкла решать вопросы и возникающие проблемы по мере их поступления. Но государство и даже любая компания неспособны двигаться вперед при таком подходе. С 2000 по 2007 год у властей не было даже тактики в развитии микроэлектроники в стране. Экономика и электронная промышленность развивались без деятельного участия наших властей по инерции подъема после дефолта 1998 года, удобренные высокими ценами углеводородного сырья. Они только вливали в отрасль деньги для ее текущей поддержки, но без стратегической перспективы. В 2010-м была принята стратегия развития отрасли до 2020 года, которая, как и программы развития в других областях, осталась формальным документом, поскольку была чисто декларатив-

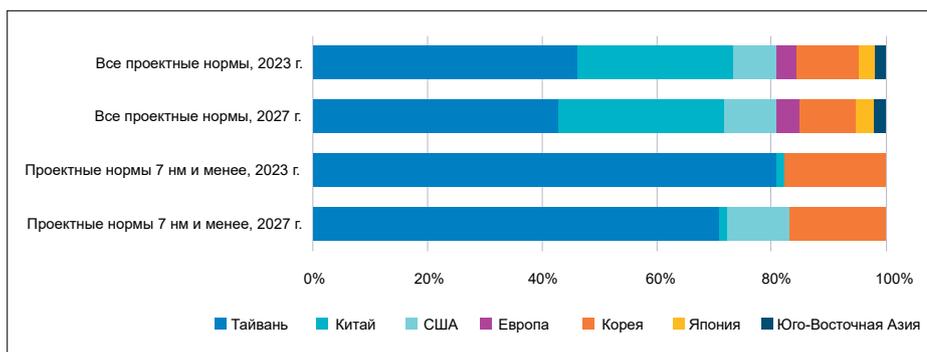


Рис.6. Доли разных стран мира в передовых технологиях 7 нм и менее и зрелых технологиях свыше 28 нм от IDC

ной. В отличие от Тайваня, Южной Кореи, Сингапура, Китая и даже Малайзии, для которых электронная промышленность является стратегической отраслью и локомотивом всей экономики, в России она была отраслью национальной военной безопасности. Но в новых условиях 2010–2020 гг. она не могла ею быть из-за катастрофического отставания в уровне технологий и особенно продуктов. Иллюзии, что эту проблему можно решить закупкой на «Микрон» производственной линии 130 нм, стали понятны довольно быстро. Автор об этом писал в статье [48]. Такая линия является только инструментом и без соответствующих технологий, продуктов и кадров не решает задачу. Власти также делали ставку на развитие дизайн-центров, не требующих больших финансовых вложений, и на зарубежные полупроводниковые фабрики. Но в период с 2014 по 2020 год в отрасли практически собственного развития не было, и мы просто плыли по течению. ВВП страны с 2012 по 2022 год продемонстрировал почти нулевой средний ежегодный рост по эквивалентным показателям, и это опровергнуть никакими аргументами и оправданиями невозможно. Даже имея в качестве положительного примера опыт вышеуказанных зарубежных стран, наши власти не преуспели в тактических решениях и не смогли (или не захотели) повторить их действия и привлечь в Россию ни одну крупную зарубежную полупроводниковую компанию. Построенные с их участием и с помощью субсидий нашей страны (или без них) современные заводы с высоким технологическим уровнем, управлением производством, качеством и себестоимостью продукции, сформировали бы в стране новую экосреду для гражданской продукции, за которой могли бы подтягиваться отечественные заводы. Именно так было в Китае, и то же самое мы видим сейчас даже в высокоразвитых США, Евросоюзе, Японии. Стоит также вспомнить пример СССР по строительством в Тольятти сборочного завода итальянской компании Fiat, давшей революционный толчок развитию автомобилестроения в стране. Может, у властей была иллюзия, что мы все сделаем самостоятельно. Но эффективная и конкурентная себестоимость производства с высоким выходом годных никогда не была нашим сильным качеством, даже в СССР.

Многочисленно используемый властями метод орошать или заливать проблему деньгами (в зависимости от ее размера) в микроэлектронике не работает. Во-первых, с учетом инновационности отрасли размер этих средств ничтожен; во-вторых, без создания новых технологий, производств, а главное — передовых продуктов такие вливания в микроэлектронике неэффективны; в-третьих, нужно привлекать знания и кадры, а с этим в стране проблемы.

Десятилетняя программа развития электронной промышленности страны до 2030 года, содержащая нереальные показатели и прогнозы, в том числе освоение 7-нм технологии, ушла в небывшие через один-два года после ее принятия. Печальная судьба этой программы была понятна автору настоящей статьи сразу после ее подписания, и он один из немногих, кто изложил свое обоснование в статье [49]. На смену ей на форуме «Микроэлектроника-2023» правительственные чиновники дают новые обещания, но теперь только по 14 нм к 2030 году. Но с оговоркой, что это зависит от наших усилий. Интересно, а как зависит от нас подобный неисполнимый аттракцион обещаний чиновников и какую роль они отводят себе? Видно, что чиновники сами не верят в такое и сразу готовят пути отхода и оправдания. Но должность требует излучать оптимизм. Но в отличие от 2020 года сейчас уже большинство экспертов и средств информации открыто выражают сомнения и не верят в достижение этой цели. Проблема в том, что существующая в стране система управления и подбора кадров даже самого высокого уровня в принципе не нацелена на достижение положительного результата. Главная ее цель — освоение денег, личная выгода, лояльность и преданность. Главная наша задача, по словам чиновников — достижение технологического суверенитета, который в принципе недостижим даже на концептуальном уровне. Разрушенное ранее полупроводниковое машиностроение теперь пытаются реанимировать. Но вопрос: если

по их версии его разрушили за 8 лет в 1990-е гг., то что делало правительство за последние аж 23 года? Ответ простой: не восстанавливало, а добивало. Так что не один Чубайс виноват. И сколько лет еще наши власти намерены все свои провалы списывать на 1990-е годы и неправильный мир, «забывая» об экономических результатах Китая и послевоенного СССР, за 16 лет восстановившего разрушенную страну и запустившего человека в космос. Наши власти с легкостью рисуют и меняют долгосрочные программы в разных областях экономики на 10 лет, но при этом неспособны спланировать и реализовать развитие на ближайшие один-два года. Сколько было за 20 лет неисполненных программ и обещаний даже на президентском уровне, за которые никто не отчитался и не ответил. О них просто забывают и переписывают задачи и сроки, не пытаясь даже формально провести анализ провалов. С такой системой никакая экономика не может быть эффективной, а в такой среде микроэлектроника не выживает. И только тот, кто не хочет видеть очевидное, не понимает весь контраст и пропасть между действиями и результатами передовых стран и Россией по экономике и электронной промышленности в целом и микроэлектроникой в частности.

Никто из специалистов и простых граждан не понимает, какую экономику и государство строят наши власти, а они ни разу не смогли это убедительно доказать на всех многочисленных форумах и конференциях и в предвыборных обещаниях. Поэтому можно зеркально утверждать: какая экономика, такая и микроэлектроника, и наоборот.

## Выводы

1. Япония стремится вернуть былое величие в электронике и за счет новых полупроводниковых производств и зарубежных корпораций планирует выйти на самый современный технологический уровень, утроить объемы выпуска продукции к 2030 году, а в начале следующего десятилетия стать четвертой страной в мире, освоившей 1-нм технологию.
2. В связи с созданием новых политических условий в ближайшие годы у Индии может появиться шанс стать наиболее привлекательной страной для замены санкционного Китая, производственной экспансии и строительства крупными зарубежными компаниями новых производственных мощностей в электронике. Но создание хорошей экосреды потребует гигантских инвестиций, длительного времени и роста собственного рынка потребления в Индии.
3. Вследствие санкций США Китай прилагает большие усилия и достигает впечатляющих результатов в суверенизации полупроводникового производства во всех его сферах, включая заметно отстававшее ранее производство полупроводникового оборудования. Но отставание Китая, обеспечение экономической конкурентоспособности и независимости по трем последним технологическим поколениям от 7 нм и менее, особенно по оборудованию, материалам и программному софту для них, будет очень сложно сократить.
4. Китай анонсирует освоение технологий 7 и 5 нм и мобильных процессоров для смартфонов и ноутбуков Huawei с их применением, но экономические показатели техпроцессов и продукции, изготовленных с помощью DUV-литографии неизвестны, и вызывают сомнения у экспертов в их конкурентоспособности, а практическая реализованность 5-нм технологии в SMIC не подтверждена.
5. Китай стремится увеличить количество компаний, владеющих, помимо SMIC, самыми передовыми технологиями, и выделяет громадное финансирование в \$1 млрд. компании HLMC на освоение 10-нм техпроцесса.
6. Полномасштабные войны как политическое оружие стали рутинным долгосрочным мировым явлением без видимых признаков ослабления, тормозящим развитие мировой полупроводниковой отрасли. В то же время есть слабые признаки санкционных ослаблений в отношениях США и Китая, продолжение которых будет зависеть от результатов встречи президентов двух стран.

7. Сильное наращивание производственных мощностей в мире, и особенно в Китае, по выпуску продукции по зрелым техпроцессам от 28 нм и выше может привести к их избытку и ценовым войнам между компаниями, что окажет дестабилизирующее влияние на мировой рынок.
8. Ввиду отсутствия эффективной и жизнеспособной программы развития микроэлектроники в стране, слабого финансирования, неудовлетворительного управления, международной изоляции, Россия не в состоянии поддержать даже текущий уровень развития собственной полупроводниковой отрасли и срывает 10-летние стратегии ее развития. За последние 25 лет все декларативные попытки провести полное импортозамещение и добиться технологической независимости в микроэлектронике полностью провалились и являются в принципе нереализуемыми даже на концептуальном уровне. v

## Литература

1. Япония выделила \$13,4 млрд. на возрождение полупроводниковой промышленности — Micron и TSMC получат больше всех. 3DNews. 30.09.2023. [www.3dnews.ru](http://www.3dnews.ru)
2. TSMC's \$8bn Japan chip project steams ahead as U.S. site hits snags. Nikkei Asia. October 3, 2023. [www.asia.nikkei.com](http://www.asia.nikkei.com)
3. TSMC Weighs Third Japan Chip Plant with Cutting-Edge 3nm Tech. Bloomberg. November 21, 2023. [www.bloomberg.com](http://www.bloomberg.com)
4. Japan aims to treble sales of domestically made microchips by 2030. Reuters. April 3, 2023. [www.reuters.com](http://www.reuters.com)
5. Japan allocates \$1.2bn subsidy for Micron's Hiroshima chip plant. Nikkei Asia. September 29, 2023. [www.asia.nikkei.com](http://www.asia.nikkei.com)
6. Denso to invest \$3.3B to expand its chip business. Evertiq. October 26, 2023. [www.evertiq.com](http://www.evertiq.com)
7. IBM Throws Weight Behind Japan Chip Startup It Sees as Vital. Bloomberg. July 3, 2023. [www.bloomberg.com](http://www.bloomberg.com)
8. Японская Rapidus освоит выпуск 1-нм чипов с помощью французского исследовательского института Leti. 3DNews. 17 ноября 2023 г. [www.3dnews.ru](http://www.3dnews.ru)
9. Taiwan's Powerchip considering 5 sites in Japan for \$5.4 bln factory. Reuters. October 17, 2023. [www.reuters.com](http://www.reuters.com)
10. Toshiba and Rohm team up on power chips, backed by subsidies. Nikkei Asia. December 8, 2023. [www.Asia.nikkei.com](http://www.Asia.nikkei.com)
11. ROHM Group officially opened a new production building in Malaysia. ROHM Semiconductor. October 13, 2023. [www.rohm.com](http://www.rohm.com)
12. Applied Materials to invest \$400 million in India for new engineering center. Reuters. June 22, 2023. [www.reuters.com](http://www.reuters.com)
13. Lam Research Unveils Plans to Advance India's Semiconductor Workforce Development Goals at White House Today. Lam Research Corp. June 22, 2023. [www.lamresearch.com](http://www.lamresearch.com)
14. Micron Announces New Semiconductor Assembly and Test Facility in India. Micron Technology. June 22, 2023. [www.micron.com](http://www.micron.com)
15. US-headquartered Microchip Technology expands presence in India, to invest \$300 million in next few years. Business Today. July 3, 2023. [www.businesstoday.in](http://www.businesstoday.in)
16. Foxconn Adds \$1 Billion to Investment in Giant Apple India Plant. Bloomberg. December 13, 2023. [www.bloomberg.com](http://www.bloomberg.com)
17. Боднар Д. Ориентация на экспорт как средство повышения конкурентоспособности отечественной электроники // Электронные компоненты. 2015. № 4.
18. China's Tech Distress Grows as U.S. Chip Sanctions Bite. The World Street Journal. July 31, 2023. [www.wsj.com](http://www.wsj.com)
19. ASML Hit with New Dutch Limits on Chip Gear Exports to China. Bloomberg. June 30, 2023. [www.bloomberg.com](http://www.bloomberg.com)
20. Chip CEOs to Meet Brainard, Sullivan Over China Restrictions. Bloomberg. July 17, 2023. [www.bloomberg.com](http://www.bloomberg.com)
21. Intel Drops \$5.4 Billion Deal After China Holds Up Approval. Bloomberg. August 16, 2023. [www.bloomberg.com](http://www.bloomberg.com)
22. China hits back in the chip war, imposing export curbs on crucial raw materials. CNN. July 3, 2023. [www.cnn.com](http://www.cnn.com)
23. Цена на галлий выросла на 50% с начала июля. Время электроники. 16.08.2023. [www.russianelectronics.ru](http://www.russianelectronics.ru)
24. China's Export Controls on Gallium and Germanium: Impact on the Semiconductor Industry. Power Electronics News. July 18, 2023. [www.powerelectronicsnews.com](http://www.powerelectronicsnews.com)
25. US grants Samsung and SK Hynix indefinite waiver on chip gear supplies to China; TSMC waiting. DIGITIMES Asia. October 9, 2023. [www.digitimes.com](http://www.digitimes.com)
26. China's Impact on the Semiconductor Industry: 2015 update. PwC. March 2016. [www.pwc.com/chinasemicon](http://www.pwc.com/chinasemicon)
27. В Китае за два года погибли 10 тысяч компаний — разработчиков чипов. CNews. 10 мая 2023. [www.cnews.ru](http://www.cnews.ru)
28. Chinese firm expected to deliver 28nm chip machine at year-end: media report. Global Times. August 1, 2023. [www.globaltimes.cn](http://www.globaltimes.cn)
29. Китай вдвое увеличил уровень локализации оборудования для производства микросхем. Теперь он более 40%. Время электроники. 22.09.2023. [www.russianelectronics.ru](http://www.russianelectronics.ru)
30. China's SMIC, chip sector boost R&D spending despite weak earnings. NikkeiAsia. September 12, 2023. [www.asia.nikkei.com](http://www.asia.nikkei.com)
31. China's chip tool imports rise 80% ahead of US restrictions. Evertiq. December 08, 2023. [www.evertiq.com](http://www.evertiq.com)
32. China's imports of Dutch chip-making equipment surged tenfold in November after Washington tightened restrictions. South China Morning Post. December 22, 2023. [www.scmp.com](http://www.scmp.com)
33. A closer look at the first made-in-China 5G chip from Huawei. EDN. September 5, 2023. [www.edn.com](http://www.edn.com)
34. SMIC Well on Its Way to 5-nm Breakthrough, Observers Say. EETimes. September 20, 2023. [www.eetimes.com](http://www.eetimes.com)
35. SMIC process is 7nm, says Tech Insights. EENews Europe. August 30, 2023. [www.eenewseurope.com](http://www.eenewseurope.com)
36. Ex-ASML Staff Accused of Theft Went to Work for Huawei. Bloomberg. October 23, 2023. [www.bloomberg.com](http://www.bloomberg.com)
37. SMIC Prepares 5 nm Huawei Kirin Chipsets. Gizchina. October 7, 2023. [www.gizchina.com](http://www.gizchina.com)
38. US officials doubt China's SMIC foundry can produce enough 7nm chips to satisfy Huawei's demand. Yahoo Finance. December 13, 2023. [www.Finance.yahoo.com](http://www.Finance.yahoo.com)
39. Huawei Teardown Shows 5nm Chip Made in Taiwan, Not China. Bloomberg. January 05, 2024. [www.bloomberg.com](http://www.bloomberg.com)
40. Chinese Chip Gear Leader Achieves Key Breakthrough. Bloomberg. December 20, 2023. [www.bloomberg.com](http://www.bloomberg.com)
41. Китай дал миллиард своему тайному чипмейкеру на техпроцесс 10 нм. Время электроники. 8 декабря 2023 г. [www.russianelectronics.ru](http://www.russianelectronics.ru)
42. Exclusive: China to launch \$40 billion state fund to boost chip industry. Reuters. September 05, 2023. [www.reuters.com](http://www.reuters.com)
43. Guangdong province establishes \$1.5 billion chip fund. Evertiq. December 23, 2023. [www.evertiq.com](http://www.evertiq.com)
44. China's Share in Mature Process Capacity Predicted to Hit 29% in 2023, Climbing to 33% by 2027. TrendForce. October 18, 2023. [www.trendforce.com](http://www.trendforce.com)
45. China's Wafer Fabs Hits 44 with Future Expansion 32, Mainly Targeting on The Mature Process. TrendForce. November 14, 2023. [www.trendforce.com](http://www.trendforce.com)
46. China's IC Expansion Could 'Ignite Price War'. EPSNews. October 18, 2023. [www.epsnews.com](http://www.epsnews.com)
47. Россиян завалят иранской техникой, произведенной в России. У кого отнимут заводы? CNews. 13 октября 2023 г. [www.cnews.ru](http://www.cnews.ru)
48. Боднар Д. Может ли один «Микрон» обеспечить технологическую безопасность России? // Электронные компоненты. 2012. № 1.
49. Боднар Д. Иллюзии заявленного роста экономики и электроники. Стоит ли ожидать его от «нового» правительства России? // Электронные компоненты. 2020. № 2.