

Электронная промышленность в условиях санкций: Россия и Китай — партнеры или конкуренты?

Electronic Industry Under Sanctions: Are Russia and China Partners or Competitors?

DOI 10.12737/2587-9111-2022-10-5-48-55

Получено: 14 августа 2022 г. / Одобрено: 12 сентября 2022 г. / Опубликовано: 25 октября 2022 г.

Ильина С.А.

Канд. экон. наук, старший научный сотрудник,
Институт экономики РАН,
Россия, 117218, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 32,
e-mail: sailyina@inecon.ru

Ilyina S.A.

Candidate of Economic Sciences, Senior Researcher,
Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences,
32, Nakhimovsky Prospect, Moscow, 117218, Russia,
e-mail: sailyina@inecon.ru

Аннотация

В статье представлен анализ информации о состоянии и перспективах развития электронной промышленности России и Китая в условиях санкций. Выявлены факторы, препятствующие развитию локальной электронной промышленности и интеграции в глобальную цепочку создания стоимости полупроводников — базового передела электронной промышленности. Рассмотрены имеющиеся технологические и производственные возможности России и Китая в сфере электронной промышленности. Определены потенциально конфликтные точки между двумя странами. Сделан вывод о том, что при создании новых региональных цепочек создания стоимости электронной продукции в коллаборации с дружественными странами необходимо достигать договоренностей либо о разграничении их сегментов между участниками, либо о квотировании выпуска однотипной продукции для снижения конкуренции и повышения эффективности взаимодействия.

Ключевые слова: электронная промышленность, полупроводники, санкции в сфере электронной промышленности, санкции в сфере полупроводников, глобальная цепочка создания стоимости полупроводников.

Abstract

The article presents an analysis of information on the state and prospects of the development of the electronic industry in Russia and China under sanctions. The factors hindering the development of the local electronics industry and integration into the global semiconductor value chain, the basic redistribution of the electronics industry, have been identified. The available technological and production capabilities of Russia and China in the field of electronic industry are considered. Potential conflict points between the two countries have been identified. It is concluded that when creating new regional value chains of electronic products in collaboration with friendly countries, it is necessary to reach agreements either on the delimitation of their segments between participants, or on quotas for the production of the similar products to reduce competition and increase the efficiency of interaction.

Keywords: electronic industry, semiconductors, electronic industry sanctions, semiconductor sanctions, global semiconductor value chain.

Глобальная кампания по локализации сферы высоких технологий, развернувшаяся с конца 2020 г., сопровождается усилением сдерживания развития электронной промышленности России и Китая и выдавливанием их из глобальных цепочек создания стоимости. Теперь обе страны вынуждены адаптироваться к функционированию в новых чрезвычайных условиях, под международным санкционным давлением, переформатируя старые и создавая новые партнерские кооперации. Однако в данных обстоятельствах для России и Китая создаются предпосылки не только для взаимовыгодной поддержки, но и для противостояния в конкурентной борьбе за рынки. От того, какая тенденция возобладает в ближайшее время, зависит перспектива выхода из кризиса и развития отечественной электронной промышленности. Вышесказанное определило актуальность настоящего исследования.

Целью работы является анализ информации о состоянии и перспективах развития электронной промышленности Китая и России в условиях санкций.

Для анализа были использованы нормативные правовые документы, материалы международных организаций, данные компаний электронной промышленности, оценки экспертов, научная литература.

Методология исследования базируется на общенаучных методах познания: логическом и системном анализе, синтезе, методах сравнения, сбора и описания данных.

Отечественная электронная промышленность многие годы подвергалась критике из-за ее технологической отсталости в целом ряде сегментов, недостаточной вовлеченности в глобальные цепочки и низкой доли присутствия на международных рынках. Однако сдерживанию ее прогресса способствовал целый ряд объективных причин. В первую очередь — это сложившаяся система глобальной цепочки создания стоимости полупроводников (ГЦС) — базового передела электронной продукции. Производство полупроводников очень дорогое и сложное. Нанометр — это примерно 1/100 000 толщины листа бумаги. Передовые чипы (иначе называемые микросхемы), используемые для создания новейших процессоров iPhone и MacBook, выпускаются на основе техпроцесса 5-нм (например, размер вируса COVID составляет около 100-нм). Производителям необходимо разместить миллиарды транзисторов на чипе, т.е. чем меньше его размер, тем сложнее и дороже разработка и производство [1]. До сих пор ни одна страна в мире не обладает само-

достаточным производством полупроводников. Развитие собственной электронной промышленности, а также интеграция в ГЦС, стоимостью более полутриллиона долларов [2], сильно ограничена из-за целого ряда факторов. Выделим основные из них:

- *Высокий порог входа на рынок.* Производство чипов — очень сложный, высокотехнологичный бизнес, требующий колоссальных инвестиций и высокую степень экспертизы, что крайне затрудняет выход новых игроков на рынок [3]. Стоимость проектирования интегральной микросхемы по технологии 28-нм составляет \$51,3 млн, 7-нм — \$297,8 млн, 5-нм — \$542,2 млн, а с топологией 3-нм может достигнуть \$1,5 млрд [4]. Необходимые инвестиции для строительства новых заводов по производству передовых чипов по технологии 7-нм оцениваются в объеме \$10 млрд (американской *Intel* в Израиле), 5-нм — \$17 млрд (южнокорейской *Samsung* в США), 3-нм — \$20 млрд (тайваньской *TSMC* на Тайване) [5].
- *Высокая концентрация рынка.* Микроэлектроника нового поколения имеет экстенсивный характер развития, а переход на новые уровни производств требует все новых ресурсов, увеличивающихся с каждым циклом в геометрической прогрессии. Бесконечная тенденция к повышению технологичности, трудоемкости, стоимости и усложнению производств приводит к необходимости консолидации рынка, образованию олигополий и даже монополий в его сегментах.
- *Сложившаяся система воспроизводства кадров и дефицит рабочей силы.* Исторически сложилось так, что система воспроизводства высококвалифицированных кадров сконцентрирована в действующих промышленных центрах. Например, единственный в мире производитель EUV-сканеров, необходимых для производства самых передовых чипов, голландский *ASML* открыл для своего крупнейшего заказчика *TSMC* на Тайване учебный центр (стоимостью \$16 млн) по подготовке инженерных кадров для работы со своим литографическим оборудованием, на подготовку соответствующего специалиста уходит 18 месяцев [6]. Помимо этого, глобальный дефицит чипов, вызванный пандемией COVID-19, побудил мировых лидеров к расширению производств, предполагающий массовый найм сотрудников, что повлекло за собой острейший в истории дефицит квалифицированных кадров для полупроводниковой промышленности во всем мире [7].
- *Отсутствие доступа к интеллектуальным правам.* Значительная доля патентов на технологии, введенные в оборот на глобальном полупроводниковом рынке, принадлежит США.
- *США как оператор ГЦС и регулятор рынка.* Глобальный рынок полупроводников никогда не был свободным. США фактически являются его оператором, проводя протекционистскую политику, а также оказывая геополитическое давление на другие страны для его регулирования, тем самым допуская на рынок угодных игроков и вытесняя с него негодных. Одним из инструментов такой политики являются Вассенаарские договоренности (ВД) — многонациональное соглашение по экспортному контролю за обычными вооружениями, товарами и технологиями двойного назначения для предотвращения дестабилизирующих накоплений вооружений и приобретения такой продукции террористами. В настоящее время участниками этих договоренностей являются 42 государства, в числе которых США, члены ЕС (кроме Кипра), Великобритания, Швейцария, Р. Корея, Япония, Индия, Украина, Россия и др. [8]. В общем случае ВД добавляли бюрократическую волокиту, что являлось еще одним барьером для вхождения новых участников в ГЦС [1]. В частных случаях это соглашение могло использоваться против негодных стран, в числе которых впоследствии оказалась и Россия. Так, в апреле 2022 г. Тайвань ввел ограничения на высокотехнологичный экспорт (в том числе полупроводниковую продукцию) в нашу страну, основываясь на положениях ВД, при этом примечательно, что ни сам остров, ни материковый Китай участниками этого соглашения не являются [9].
- *Конечность рынка сбыта.* Очевидно, что при очень высоких капитальных затратах необходим соответствующий рынок сбыта, но все сегменты глобального полупроводникового рынка уже поделены, чтобы в него встроиться необходимо применение нерыночных методов, таких как технологическая блокада, санкции, торговые войны и т.д., чтобы кого-нибудь из него вытеснить. Рассмотрим на примере критически важного сегмента ГЦС — контрактного производства полупроводников по спецификациям заказчиков (бизнес-модель Foundry). Сейчас на 10 крупнейших контрактных производителей приходится 97,7% сегмента глобального рынка (см. табл.). Из представленных компаний только две (тайваньская *TSMC* и южнокорейская *Samsung*) располагают производственными мощностями, основанными на самых передовых техпроцессах — 7-нм и менее, чья доля в совокупности составляет 70,4%. Остальные про-

изводители выпускают продукцию по предыдущим технологиям. Однако движение за самодостаточность в сфере полупроводников с конца 2020 года превратилась в глобальную кампанию, что было связано с возникновением беспрецедентного дефицита чипов (подр. см.: [10]). Эти новые национальные усилия стали подкрепляться огромными субсидиями и государственными инвестициями в таких странах/регионах, как США, ЕС, Япония, Тайвань, Ю. Корея, Китай и Индия. По оценкам ассоциации SEMI, в период 2020–2024 гг. по всему миру будет введено в эксплуатацию около 91 нового завода по производству полупроводников. Математическим следствием того, что многие страны в настоящее время создают оншоринговые цепочки поставок чипов (перемещают бизнес-процессы внутрь национальных границ), заключается в том, что полученные мощности значительно превысят мировые потребности [1].

Таблица

ТОП-10 контрактных производителей полупроводников (Foundry), 4 квартал 2021 г.

Ранг	Компания	Штаб-квартира	Доля рынка, %
1	TSMC	Тайвань (Китай)	52,1
2	Samsung	Ю. Корея	18,3
3	UMC	Тайвань (Китай)	7,0
4	GlobalFoundries	США	6,1
5	SMIC	Китай	5,2
6	HuaHong Group (включая HNGrace и HLMC)	Китай	2,9
7	PSMC	Тайвань (Китай)	2,0
8	VIS	Тайвань (Китай)	1,5
9	Tower Semiconductor	Израиль	1,4
10	Nexchip	Китай	1,2
	Итого ТОП-10:		97,7
	Другие		2,3
	Итого по рынку:		100

Примечание. Составлено по данным: [11]; сайтам компаний.

Таким образом, развитие самодостаточной полупроводниковой промышленности является «разорительной роскошью» даже для самой богатой страны [12].

Первым позволить себе такую «роскошь» осмелился Китай, который в последние годы в приоритетном порядке стал развивать собственную полупроводниковую индустрию и тем самым представлять угрозу существующей расстановке сил на рынке. Чтобы воспрепятствовать этому США развязали экономическое и геополитическое противостояние с Китаем, в которое были вовлечены и другие страны,

нанося по его сфере высоких технологий один удар за другим. Приведем некоторые примеры. В 2016 г. США заблокировали ряд сделок по приобретению Китаем не только американских компаний, но и немецкого производителя полупроводников *Aixtron*, в том же году Тайвань (островная китайская провинция) заблокировал покупку китайцами своей компании *Siliconware Precision Industries* [13]. В 2019 г. голландская *ASML* по настоянию США разорвала согласованную годом ранее с китайцами сделку по продаже передовой машины для EUV-литографии [14]. В 2020 г. США ввели ограничения в отношении крупнейшего контрактного китайского производителя *SMIC*, запретив ему приобретать современное литографическое оборудование и усложнив продажу готовой продукции [15]. В том же году Федеральная комиссия по связи США (FCC) официально присвоила китайским *Huawei* и *ZTE* (на тот момент мировые лидеры в области 5G) статус «угрозы национальной безопасности» и ввела запрет на использование телекоммуникационными компаниями федеральных средств на покупку и установку оборудования этих производителей [16]. В 2021 г. в США был принят Закон о безопасном оборудовании, запрещающий выдавать разрешение на его использование в телекоммуникационных сетях США пяти китайским компаниям (среди них *Huawei* и *ZTE*), а также позволяющий отзываться ранее выданные разрешения [17].

Несмотря на неоднократные усилия, США пока добились лишь ограниченного успеха в сдерживании подъема Китая в этой области, Поднебесная быстро развивает потенциал во многих сегментах цепочки поставок [18, с. 3], и, по прогнозу Semiconductor Industry Association, представленному в 2021 г., к 2030 г. будет занимать наибольшую долю мирового производства благодаря масштабным инвестициям своего правительства в этот сектор [19, с. 10]. Однако атака на восточную страну продолжает усиливаться. США в 2022 г. предпринимают активную попытку изоляции материкового Китая от ГЦС, путем создания Альянса «Chip 4» по производству чипов, в который по плану должны войти также Тайвань, Ю. Корея и Япония, и принудить страны АСЕАН отказаться от сотрудничества с Поднебесной («выбрать сторону» между США и Китаем) [20].

В настоящее время китайское контрактное производство полупроводников поддерживается тремя крупнейшими национальными производителями — *SMIC*, *HuaHong Group* и *Nexchip* с 9,3% совокупной долей сегмента глобального рынка (см. табл.). Самыми передовыми технологиями среди них располагает *SMIC*, которая уже освоила техпроцесс 14-нм,

а также получила экспортную лицензию (разрешение США) на ввоз в Китай литографического оборудования голландской *ASML* для такого производства [21]. Однако в июле 2022 года стало известно, что Министерство торговли США, курирующее экспортную политику, рассматривает возможности введения запрета на поставки оборудования для производства чипов по технологиям 14-нм и менее китайским фабрикам, при этом позволяя им выпускать так называемые товарные чипы (более дешевые, используемых для автомобилей и бытовой электроники), чтобы снизить их дефицит на мировом рынке [22], т. е. пока в этом есть необходимость и не обеспечена альтернатива. Помимо этого *SMIC* в 2021 г. начала производство чипов с использованием технологии 7-нм, хотя, по мнению специалистов TechInsights, основанному на результатах реинжиниринга, она является точной копией техпроцесса тайваньской *TSMC*, которая уже дважды подавала в суд на китайскую компанию за несанкционированное копирование ее технологий [23].

Помимо этого, *Huawei* (технологический гигант и крупнейший китайский потребитель чипов) объединился с компанией *SMIC* (обе компании находятся под международными санкциями) для строительства завода по производству полупроводников в материковом Китае стоимостью порядка \$10 млрд, на котором, по предположениям экспертов, будут выпускаться чипы по технологии 28-нм или 14-нм [24]. Стоит отметить, что в Китае ведется разработка собственного литографического оборудования. Компания *SMEE* создала DUV-сканер для производства чипов с проектными нормами 28-нм, с использованием китайский и японских компонентов, что позволит обеспечить независимость от США [25].

После начала СВО и введения глобальных санкций Россия стала вынуждена развивать собственную полупроводниковую промышленность. Как отметили участники конференции, отрасль настоящих разработчиков и производителей электроники только начала свое формирование в нашей стране, а последние месяцы придали этому ускорение [26].

Российская электроника в отличие от других отраслей находится под международными санкциями уже более 10 лет, а в 2016 г. под запрет на экспорт технологий и оборудования попал ряд крупных отечественных производителей, таких как зеленоградские *Микрон* и предприятия группы *Ангстрем* (подр. см.: [10]). В 2022 г. ситуация еще больше усугубилась — полный запрет либо существенные ограничения на экспорт в Россию электроники и высокотехнологичных товаров, включая полупроводники

и электронные компоненты для их производства, ввело большинство значимых игроков глобального рынка. Для нашей страны это стало настоящим ударом. Отечественная электронная промышленность оказалась менее всего подготовленной к такому развитию событий.

Сейчас в России есть только один контрактный производитель, способный выпускать для гражданской промышленности чипы по технологиям 180-нм и 90-нм в промышленных масштабах — зеленоградский *Микрон*. Стоит отметить, что в конце 2013 г. эта компания изготовила тестовые образцы микросхем по технологии 65-нм с использованием линии оборудования для производства чипов 90-нм, к которой была докуплена новая аппаратура. Чипмейкер рассчитывал запустить их в серийное производство в конце 2014 г., для этого требовались инвестиции порядка ?1 млрд на доработку технологии и ?2 млрд на закупку оборудования [27]. Судя по официальному сайту, компания в настоящее время имеет возможность осуществлять выпуск интегральных схем по проектным нормам 65-нм, но их серийное производство до сих пор не налажено. С весны 2022 г. *Микрон* перегружен заказами от отечественных компаний, однако имеющиеся мощности (10–13 млн чипов в год) не покрывают потребностей рынка. Чипмейкер запланировал к 2025 г. вдвое увеличить выпуск кремниевых пластин для чипов 180–90-нм — с 3 тыс. до 6 тыс. в месяц, необходимый объем инвестиций для реализации данной инициативы оценивается в ?10 млрд, а закупку оборудования для новых линий планируется произвести на вторичном рынке у азиатских компаний [28].

Основные российские разработчики процессоров реализуют бизнес-модель *Fabless* (бесфабричная компания), производство продукции ими передавалось на аутсорсинг зарубежным контрактным производителям, а высокопроизводительные микропроцессоры выпускались на тайваньской *TSMC*, фактически не имеющей альтернатив в этом сегменте в мире [29], которая стала теперь недоступна из-за санкций. Таким образом, отечественные компании сферы электронной промышленности оказались в сложном положении и стоят перед выбором что делать дальше, который прямо скажем не велик. Например, компания *МЦСТ*, являющаяся разработчиком процессоров «Эльбрус» (основные пользователи — отечественные силовые и государственные структуры), ведет переговоры с *Микроном* насчет возможности переноса производства. Однако в линейке процессоров «Эльбрус» используются микросхемы по топологии от 130-нм до 16-нм, а *Микрон*

предоставляет производственные мощности только по технологии 90-нм, кроме того, недостаточные для выхода на полноценное серийное производство, что приведет к снижению производительности и повышению стоимости изделия (производство процессоров по топологии 90-нм будет обходиться в лучшем случае на десятки процентов дороже, чем 28-нм на тайваньской фабрике). Поэтому рассматривается и второй вариант — искать возможности взаимодействия с иностранными контрактными производителями [30].

Буквально в последние месяцы стартовало строительство ряда отечественных заводов по выпуску электронной продукции. Так, в конце 2021 г. в Зеленограде началось строительство фабрики для выпуска микропроцессоров по технологии 28-нм, которое планируется закончить в конце 2024 г. Для ее запуска планировалось приобрести литографическое оборудование голландской компании *ASML*, однако после введения санкций этот вопрос остается в подвешенном состоянии [31]. Помимо этого, в зеленоградском *МИЭТ* ведется разработка безмасочного EUV-фотолитографа, не имеющего мировых аналогов, позволяющего обрабатывать полупроводниковые пластины с проектными нормами 28-нм и менее. Инвестиции в проект от Минпромторга составят 670 млн [32]. Но это все планы на будущее, а сейчас российские компании вынуждены искать альтернативных контрагентов на Востоке.

Когда Россия столкнулась с беспрецедентными международными санкциями, по большей части введенными после начала СВО, направленными на уничтожение отечественной электронной промышленности, были выявлены существующие возможности импортозамещения, оказана значительная государственная поддержка отрасли и приняты правительственные инициативы по ее развитию в ближайшие годы. В то же время производители электроники вынуждены искать новые каналы поставок и альтернативных контрагентов, находящихся под юрисдикцией не попавших в перечень недружественных государств. И в первую очередь, конечно, внимание было обращено на Китай, обладающий максимальными компетенциями в большинстве сегментов электронной промышленности. С этой восточной страной сейчас связано очень много ожиданий в отношении поддержки отечественной сферы электроники, но восстановление и развитие нашей отрасли приведет к неизбежному возникновению конфликта интересов между двумя странами. Обозначим основные потенциально конфликтные точки:

- Как уже было представлено ранее на примере наиболее критичного сегмента глобальной це-

почки — контрактного производства полупроводников, десять крупнейших компаний из пяти стран/регионов (Тайваня, Ю. Кореи, США, Израиль и Китая) занимают 97,7% рынка (см. табл.). Первые три страны/региона, являющиеся штаб-квартирами шести крупнейших производителей, входят в Перечень иностранных государств и территорий, совершающих в отношении России недружественные действия [33]. Помимо этого, в феврале 2022 г. была анонсирована высокая степень проработки соглашения о продаже израильской полупроводниковой компании *Tower Semiconductor* американскому технологическому гиганту *Intel* [34], т.е. после закрытия сделки мы потеряем доступ еще к одному контрагенту. В итоге, несмотря на весьма ограниченный выбор контрактных производителей (в абсолютной величине, без учета их технологических возможностей), который тем не менее был до введения санкций, теперь мы рискуем замкнуться на производственных мощностях Китая и попасть в полную зависимость от него.

- Еще одним важным аспектом контрактного производства являются высокие издержки при смене производителя. Проектирование чипов изначально осуществляется под технологические процессы конкретной фабрики, поэтому перенос их производства с одного предприятия на другое требует нескольких лет работы и редизайна [35, с. 14]. Например, перенос российской компанией *МЦСТ* производства с тайваньского завода *TSMC* на отечественный *Микрон* потребует не менее года и нескольких миллиардов рублей [30]. В связи с тем, что в настоящее время отечественные технологические и производственные мощности весьма ограничены, российские компании, вероятно, осуществят перенос выпуска своей продукции в Китай. Однако трудно представить себе рыночные экономические стимулы, которые сподвигнут повторить такую процедуру в целях локализации, когда аналогичные заводы в России будут построены. Повторный перенос будет возможен только в случае предоставления государственного субсидирования, покрывающего расходы компаний на него, а также введения ограничений на производство продукции в Китае.
- Россия не обладает самодостаточным внутренним рынком. Например, на долю нашей страны приходится менее 0,1% мировых покупок чипов [36]. Для обеспечения технологической и ценовой конкурентоспособности электронной продукции необходим большой рынок сбыта, например, та-

кой как БРИКС (Бразилия, Россия, Индия, Китай и ЮАР) с совокупным населением около 3,23 млрд человек (более 40% населения в мире) и суммарным ВВП 25% от общемирового [37], тем более с учетом его возможного расширения в ближайшие годы. Однако этот же рынок представляет интерес и для Китая.

- Представители отечественной электронной промышленности призывают к необходимости ведения более активной протекционистской политики, причем не только на нашем рынке, но и ЕАЭС (Армения, Белоруссия, Казахстан, Киргизия и Россия) в связи с усилением давления иностранных производителей на него после начала СВО, прежде всего китайских. Без введения заградительных пошлин на ряд продуктов, имеющих отечественные аналоги, не удастся сохранить наш задел и создать эффективное импортозамещение [26].
- В свою очередь видится, что в интересах Китая выгодно расширять и удерживать российский рынок сбыта для своих готовых электронных товаров, а не поставлять в нашу страну продукцию низких переделов и оборудование, чтобы выращивать себе конкурента.

Таким образом, России и Китаю предстоит находить новые подходы к взаимовыгодной кооперации в условиях международных санкций и накаляющейся геополитической обстановке. С учетом мнения многих экспертов, полагающих, что идея создания полностью локальных (внутринациональных) цепочек не имеет перспектив по целому ряду причин, представляется, что конструктивным решением могло бы стать создание новых региональных цепочек создания стоимости электронной продукции в коллаборации с дружественными странами, с которыми будут достигнуты договоренности либо о разграничении их сегментов между участниками, либо о квотировании выпуска однотипной продукции, что позволит снизить конкуренцию и повысить эффективное взаимодействие.

Литература

1. *Ting-Fang Ch., Li L.* The resilience myth: Fatal flaws in the push to secure chip supply chains // *Nikkei Asia*. Jul 27, 2022. URL: <https://asia.nikkei.com/Spotlight/The-Big-Story/The-resilience-myth-Fatal-flaws-in-the-push-to-secure-chip-supply-chains> (дата обращения: 15.08.2022).
2. Global Semiconductor Sales, Units Shipped Reach All-Time Highs in 2021 as Industry Ramps Up Production Amid Shortage / Semiconductor Industry Association. Feb 14, 2022. URL: <https://www.semiconductors.org/global-semiconductor-sales-units-shipped-reach-all-time-highs-in-2021-as-industry-ramps-up-production-amid-shortage/> (дата обращения: 15.08.2022).
3. Полупроводники: курс на взлет / Газпромбанк Инвестиции. 2022. 26 янв. URL: <https://gazprombank.investments/blog/market/microchips/> (дата обращения: 15.08.2022).
4. *Lapedus M.* Big Trouble At 3nm // *Semiconductor Engineering*. Jun 21, 2018. URL: <https://semiengineering.com/big-trouble-at-3nm/> (дата обращения: 15.08.2022).
5. *Castellano R.* Taiwan Semiconductor: A Clear Winner At <7nm Nodes Vs. Samsung And Intel // *Seeking Alpha*. Jan 11, 2022. URL: <https://seekingalpha.com/article/4479113-taiwan-semiconductor-a-clear-winner-at-7nm-nodes-versus-samsung-and-intel> (дата обращения: 15.08.2022).
6. *Ting-Fang Ch., Li L.* In win for Taiwan, ASML opens chip-tool training center for TSMC // *Nikkei Asia*. Aug 20, 2020. URL: <https://asia.nikkei.com/Business/Technology/In-win-for-Taiwan-ASML-opens-chip-tool-training-center-for-TSMC> (дата обращения: 15.08.2022).
7. *Котов П.* Тайвань столкнулся с острым дефицитом квалифицированных кадров в сфере полупроводников // *3DNews*. 2022. 20 фев. URL: <https://3dnews.ru/1060625/defitsit-chipov-na-tayvane-usugubilsya-defitsitom-kvalifitsirovannih-kadrov> (дата обращения: 15.08.2022).
8. Вассенаарские договоренности по экспортному контролю за обычными вооружениями, товарами и технологиями двойного назначения. URL: <https://www.wassenaar.org/ru/> (дата обращения: 15.08.2022).
9. Тайвань следует Вассенаарским договоренностям в вопросе экспорта в Россию // *TACC*. 2022. 15 апр. URL: <https://tass.ru/ekonomika/14384343> (дата обращения: 15.08.2022).
10. *Ильина С.А.* Рынок полупроводников: глобальная цепочка создания стоимости и динамика в условиях кризиса // *Вестник Института экономики Российской академии наук*. 2022. № 3. С. 112–125. DOI: 10.52180/2073–6487_2022_3_112_125.
11. *Chiao J.* Top 10 Foundries Post Record 4Q21 Performance for 10th Consecutive Quarter at US\$29.55B, Says Trend Force / *TrendForce*. Mar 14, 2022. URL: <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20220314-11159.html> (дата обращения: 15.08.2022).
12. *Бойко Р.* Кремниевый занавес: почему России не нужна полупроводниковая независимость // *Mobile Review*. 2021. 11 мая. URL: <https://mobile-review.com/all/articles/misc/kremnievyj-zanaves-pochemu-rossii-ne-nuzhna-poluprovodnikovaya-nezavisimost/> (дата обращения: 15.08.2022).
13. *Кутовая Я.* Проводники технологий: как Китай и Америка воюют за рынок микросхем // *Forbes*. 2017. 12 апр. URL: <https://www.forbes.ru/kompanii/342361-provodniki-tehnologiy-kak-kitay-i-amerika-voyuut-za-rynok-mikroshem> (дата обращения: 15.08.2022).
14. *Детинич Г.* Торговая война США и Китая изменила цепочку поставок сканеров ASML // *3DNews*. 2020. 18 марта. URL: <https://3dnews.ru/1006199/torgovaya-voyna-ssha-i-kitaya-izmenila-tsepochku-postavok-skanerov-asml> (дата обращения: 15.08.2022).
15. *Leswing K.* Why there's a chip shortage that's hurting everything from the PlayStation 5 to the Chevy Malibu // *CNBC*. Feb 10, 2021. URL: <https://www.cnn.com/2021/02/10/whats-causing-the-chip-shortage-affecting-ps5-cars-and-more.html> (дата обращения: 15.08.2022).
16. *Whittaker Z., Coldewey D.* FCC formally declares Huawei, ZTE 'national security threats' // *TechCrunch*. Jun 30, 2020. URL: <https://techcrunch.com/2020/06/30/fcc-huawei-zte-national-security/> (дата обращения: 15.08.2022).
17. *Fromer J.* Joe Biden signs law blocking Chinese telecoms firms like Huawei, ZTE from new equipment licences // *South China Morning Post*. Nov 12, 2021. URL: <https://www.scmp.com/news/china/diplomacy/article/3155766/joe-biden-signs->

- legislation-tighten-us-restrictions-huawei-and?utm_source=ixbtcom (дата обращения: 15.08.2022).
18. Khan S.M., Mann A., Peterson D. The Semiconductor Supply Chain: Assessing National Competitiveness / Center for Security and Emerging Technology. January 2021. URL: <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/The-Semiconductor-Supply-Chain-Issue-Brief.pdf> (дата обращения: 15.08.2022).
 19. 2021 State of The U.S. Semiconductor Industry / Semiconductor Industry Association. 2021. URL: <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/09/2021-SIA-State-of-the-Industry-Report.pdf> (дата обращения: 15.08.2022).
 20. Daye Ch. SE Asia 'cautious' on US chips alliance despite latter's attempt to exclude China from supply chain // Global Times. May 13, 2022. URL: <https://www.globaltimes.cn/page/202205/1265586.shtml> (дата обращения: 15.08.2022).
 21. Kang T. SMIC's product yields using 14nm process said to have reached TSMC's level // CnTechPost. Mar 10, 2021. URL: <https://cntechpost.com/2021/03/10/smics-product-yields-using-14nm-process-said-to-have-reached-tsmc-level/> (дата обращения: 15.08.2022).
 22. Alper A., Freifeld K., Nellis S. U.S. mulls fresh bid to restrict chipmaking tools for China's SMIC // Reuters. Jul 8, 2022. URL: <https://www.reuters.com/world/us-mulls-fresh-bid-restrict-chipmaking-tools-chinas-smic-sources-2022-07-08/> (дата обращения: 15.08.2022).
 23. Alcorn P. China's SMIC Shipping 7nm Chips, Reportedly Copied TSMC's Tech // Tom's Hardware. Jul 21, 2022. URL: <https://www.tomshardware.com/news/china-chipmaker-smics-7nm-process-is-reportedly-copied-from-tsmc-tech> (дата обращения: 15.08.2022).
 24. Shilov A. Blacklisted Huawei and SMIC to Reportedly Build Chip Fab // Tom's Hardware. Dec 30, 2021. URL: <https://www.tomshardware.com/news/huawei-to-build-chip-fab-in-collaboration-with-smic> (дата обращения: 15.08.2022)
 25. Shilov A. China's 28nm-Capable Chip Fabbing Tool on Track Amid Trade War // Tom's Hardware. Dec 06, 2020. URL: <https://www.tomshardware.com/news/chinas-28nm-capable-chip-fabbing-tool-on-track-amid-trade-war> (дата обращения: 15.08.2022).
 26. Конференция делового издания «Ведомости» совместно с Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ «Российская электроника». Москва, 28 июня 2022 г.
 27. Легезо Д. В России выпущены первые 65-нм микросхемы / Микрон. URL: <https://www.mikron.ru/company/press-center/about-us/431/?ysclid=l6f6dpqcp1476952317> (дата обращения: 15.08.2022).
 28. Королев Н. «Микрон» надеется подрасти // Коммерсантъ. 2022. 22 апр. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5318409?ysclid=l6eqpf8bhd276549801> (дата обращения: 15.08.2022).
 29. Акулова А. Какие микропроцессоры разрабатывают в России? И что с ними будет из-за санкций? // ТАСС. 2022. 10 июня. URL: <https://tass.ru/ekonomika/14868777?ysclid=l6kjpnlol171616666> (дата обращения: 15.08.2022).
 30. Корнев Т. Перенос на шаг назад. Производство процессоров «Эльбрус» переводится в Россию // РБК. 2022. 30 мая. URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2022/05/31/6290e5e39a794746a563548c?ysclid=l6diz2qcyf309413611> (дата обращения: 15.08.2022).
 31. Воейков Д. В России началось строительство фабрики для выпуска процессоров по технологии 28 нм // CNews. 2022. 05 мая. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2022-05-05_v_rossii_nachalos_stroitelstvo?ysclid=l693k2242e986897104 (дата обращения: 15.08.2022).
 32. В МИЭТе по госконтракту разрабатывают концепцию безмасочного фотолитографа — для выпуска микросхем 28 нанометров и ниже // Zelenograd.ru. URL: <https://www.zelenograd.ru/hitech/v-miete-razrabotayut-koncepciyu-bezmasochnogo-fotolitografa-dlya-vypuska-mikroshem/?ysclid=l6f6ridx8m180555109> (дата обращения: 15.08.2022).
 33. Распоряжение Правительства РФ от 05.03.2022 № 430-р Об утверждении перечня иностранных государств и территорий, совершающих в отношении Российской Федерации, российских юридических лиц и физических лиц недружественные действия / Гарант. URL: <https://internet.garant.ru> (дата обращения: 15.08.2022).
 34. Woodun Ch. Intel: The Tower Semiconductor Acquisition Is A Positive For The Supply Chain // Seeking Alpha. Jun 03, 2022. URL: <https://seekingalpha.com/article/4516296-intel-the-tower-semiconductor-acquisition-is-a-positive-for-the-supply-chain> (дата обращения: 15.08.2022).
 35. Kleinhans J.-P., Baisakova N. The global semiconductor value chain / Stiftung Neue Verantwortung. October 2020. URL: https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the-global-semiconductor_value_chain.pdf (дата обращения: 15.08.2022).
 36. SIA Statement on Sanctions on Russia / Semiconductor Industry Association. Feb 24, 2022. URL: <https://www.semiconductors.org/sia-statement-on-sanctions-on-russia/> (дата обращения: 15.08.2022).
 37. Группа БРИКС // РИА Новости. 2022. 23 июня. URL: <https://ria.ru/20220623/briks-1797227081.html?ysclid=l6nh0y1n73738020288> (дата обращения: 15.08.2022).

References

1. Ting-Fang Ch., Li L. The resilience myth: Fatal flaws in the push to secure chip supply chains. Nikkei Asia. Jul 27, 2022. URL: <https://asia.nikkei.com/Spotlight/The-Big-Story/The-resilience-myth-Fatal-flaws-in-the-push-to-secure-chip-supply-chains> (accessed: 15.08.2022).
2. Global Semiconductor Sales, Units Shipped Reach All-Time Highs in 2021 as Industry Ramps Up Production Amid Shortage. Semiconductor Industry Association. Feb 14, 2022. URL: <https://www.semiconductors.org/global-semiconductor-sales-units-shipped-reach-all-time-highs-in-2021-as-industry-ramps-up-production-amid-shortage/> (accessed: 15.08.2022).
3. Semiconductors: the course to take off. Gazprombank Investments. Jan 26, 2022. URL: <https://gazprombank.investments/blog/market/microchips/> (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).
4. Lapedus M. Big Trouble At 3nm. Semiconductor Engineering. Jun 21, 2018. URL: <https://semiengineering.com/big-trouble-at-3nm/> (accessed: 15.08.2022).
5. Castellano R. Taiwan Semiconductor: A Clear Winner At <7nm Nodes Vs. Samsung And Intel. Seeking Alpha. Jan 11, 2022. URL: <https://seekingalpha.com/article/4479113-taiwan-semiconductor-a-clear-winner-at-7nm-nodes-versus-samsung-and-intel> (accessed: 15.08.2022).
6. Ting-Fang Ch., Li L. In win for Taiwan, ASML opens chip-tool training center for TSMC. Nikkei Asia. Aug 20, 2020. URL: <https://asia.nikkei.com/Business/Technology/In-win-for-Taiwan-ASML-opens-chip-tool-training-center-for-TSMC> (accessed: 15.08.2022).
7. Kotov P. Taiwan is facing an acute shortage of qualified personnel in the field of semiconductors. 3DNews. Feb 20, 2022. URL: <https://3dnews.ru/1060625/defitsit-chipov-natayvane-usugubilsya-defitsitom-kvalifitsirovannih-kadrov> (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).
8. The Wassenaar Arrangement on Export Control for Conventional Arms and Dual-Use Goods and Technologies. URL: <https://www.wassenaar.org/ru/> (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).
9. Taiwan follows the Wassenaar Arrangement on exports to Russia. TASS. Apr 15, 2022. URL: <https://tass.ru/ekonomika/14384343> (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).

10. Ilyina S.A. Semiconductor market: global value chain and dynamics in a crisis. *Vestnik Instituta Ekonomiki Rossiyskoy Akademii Nauk* [The Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences]. 2022. No. 3. P. 112–125. DOI: 10.52180/2073–6487_2022_3_112_125. (In Russ.).
11. Chiao J. Top 10 Foundries Post Record 4Q21 Performance for 10th Consecutive Quarter at US\$29.55B, Says TrendForce. TrendForce. Mar 14, 2022. URL: <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20220314–11159.html> (accessed: 15.08.2022).
12. Boyko R. Silicon Curtain: Why Russia doesn't need Semiconductor Independence. Mobile Review. May 11, 2021. URL: <https://mobile-review.com/all/articles/misc/kremnievyj-zanaves-pochemu-rossii-ne-nuzhna-poluprovodnikovaya-nezavisimost/> (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).
13. Kutovaya Ya. Technology Guides: how China and America are fighting for the chip market. Forbes. Apr 12, 2017. URL: <https://www.forbes.ru/kompanii/342361-provodniki-tehnologiy-kak-kitay-i-amerika-voyuyut-za-rynok-mikroshem> (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).
14. Detinich G. The US-China trade war has changed the supply chain of ASML scanners. 3DNews. Mar 18, 2020. URL: <https://3dnews.ru/1006199/torgovaya-voyna-ssha-i-kitay-izmenila-tsepochnu-postavok-skannerov-asml> (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).
15. Leswing K. Why there's a chip shortage that's hurting everything from the PlayStation 5 to the Chevy Malibu. CNBC. Feb 10, 2021. URL: <https://www.cnbc.com/2021/02/10/whats-causing-the-chip-shortage-affecting-ps5-cars-and-more.html> (accessed: 15.08.2022).
16. Whittaker Z., Coldewey D. FCC formally declares Huawei, ZTE 'national security threats'. TechCrunch. Jun 30, 2020. URL: <https://techcrunch.com/2020/06/30/fcc-huawei-zte-national-security/> (accessed: 15.08.2022).
17. Fromer J. Joe Biden signs law blocking Chinese telecoms firms like Huawei, ZTE from new equipment licences. South China Morning Post. Nov 12, 2021. URL: https://www.scmp.com/news/china/diplomacy/article/3155766/joe-biden-signs-legislation-tighten-us-restrictions-huawei-and?utm_source=ixbtcom (accessed: 15.08.2022).
18. Khan S.M., Mann A., Peterson D. The Semiconductor Supply Chain: Assessing National Competitiveness. Center for Security and Emerging Technology. January 2021. URL: <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/The-Semiconductor-Supply-Chain-Issue-Brief.pdf> (accessed: 15.08.2022).
19. 2021 State of The U.S. Semiconductor Industry. Semiconductor Industry Association. 2021. URL: <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/09/2021-SIA-State-of-the-Industry-Report.pdf> (accessed: 15.08.2022).
20. Daye Ch. SE Asia 'cautious' on US chips alliance despite latter's attempt to exclude China from supply chain. Global Times. May 13, 2022. URL: <https://www.globaltimes.cn/page/202205/1265586.shtml> (accessed: 15.08.2022).
21. Kang T. SMIC's product yields using 14nm process said to have reached TSMC's level. CnTechPost. Mar 10, 2021. URL: <https://cntechpost.com/2021/03/10/smics-product-yields-using-14nm-process-said-to-have-reached-tsmcs-level/> (accessed: 15.08.2022).
22. Alper A., Freifeld K., Nellis S. U.S. mulls fresh bid to restrict chipmaking tools for China's SMIC. Reuters. Jul 8, 2022. URL: <https://www.reuters.com/world/us-mulls-fresh-bid-restrict-chipmaking-tools-chinas-smic-sources-2022-07-08/> (accessed: 15.08.2022).
23. Alcorn P. China's SMIC Shipping 7nm Chips, Reportedly Copied TSMC's Tech. Tom's Hardware. Jul 21, 2022. URL: <https://www.tomshardware.com/news/china-chipmaker-smics-7nm-process-is-reportedly-copied-from-tsmc-tech> (accessed: 15.08.2022).
24. Shilov A. Blacklisted Huawei and SMIC to Reportedly Build Chip Fab. Tom's Hardware. Dec 30, 2021. URL: <https://www.tomshardware.com/news/huawei-to-build-chip-fab-in-collaboration-with-smic> (accessed: 15.08.2022).
25. Shilov A. China's 28nm-Capable Chip Fabling Tool on Track Amid Trade War. Tom's Hardware. Dec 06, 2020. URL: <https://www.tomshardware.com/news/chinas-28nm-capable-chip-fabling-tool-on-track-amid-trade-war> (accessed: 15.08.2022).
26. Vedomosti business edition conference jointly with the Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation 'Russian Electronics'. Moscow. June 28, 2022. (In Russ.).
27. Legezo D. The first 65nm microchips have been released in Russia. Micron. URL: <https://www.mikron.ru/company/press-center/about-us/431/?ysclid=l6f6dpqpci476952317> (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).
28. Korolev N. 'Micron' hopes to grow up. Kommersant. Apr 22, 2022. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5318409?ysclid=l6eqpf8bhd276549801> (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).
29. Akulova A. What microprocessors are being developed in Russia? And what will happen to them because of the sanctions? TASS. Jun 10, 2022. URL: <https://tass.ru/ekonomika/14868777?ysclid=l6kjpniol171616666> (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).
30. Kornev T. Moving a step back. The production of Elbrus processors is being transferred to Russia. RBC. May 30, 2022. URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2022/05/31/6290e5e39a794746a563548c?ysclid=l6diz2qcyf309413611> (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).
31. Voeykov D. Construction of a factory for the production of processors using 28nm technology began in Russia. CNews. May 05, 2022. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2022-05-05_v_rossii_nachalos_stroitelstvo?ysclid=l693k2242e986897104 (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).
32. MIET will develop the concept of a maskless lithograph under a state contract to produce chips at 28 nanometers and below. Zelenograd.ru. URL: <https://www.zelenograd.ru/hitech/v-miete-razrabotayut-koncepciyu-bezmasochnogofotolitografa-dlya-vypuska-mikroshem/?ysclid=l6f6ridx8m180555109> (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).
33. Decree of the Government of the Russian Federation No. 430-r of March 05, 2022 On Approval of the List of Foreign States and Territories Committing Unfriendly Actions against the Russian Federation, Russian Legal Entities and Individuals. Garant. URL: <https://internet.garant.ru> (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).
34. Woodun Ch. Intel: The Tower Semiconductor Acquisition Is A Positive For The Supply Chain. Seeking Alpha. Jun 03, 2022. URL: <https://seekingalpha.com/article/4516296-intel-the-tower-semiconductor-acquisition-is-a-positive-for-the-supply-chain> (accessed: 15.08.2022).
35. Kleinhans J.-P., Baisakova N. The global semiconductor value chain. Stiftung Neue Verantwortung. October 2020. URL: https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the_global_semiconductor_value_chain.pdf (accessed: 15.08.2022).
36. SIA Statement on Sanctions on Russia. Semiconductor Industry Association. Feb 24, 2022. URL: <https://www.semiconductors.org/sia-statement-on-sanctions-on-russia/> (accessed: 15.08.2022).
37. BRICS Group. RIA Novosti. Jun 23, 2022. URL: <https://ria.ru/20220623/briks-1797227081.html?ysclid=l6nh0y1n73738020288> (accessed: 15.08.2022). (In Russ.).