

РОССИЙСКАЯ И МИРОВАЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. ЦИФРЫ И ФАКТЫ

Анастасия Григорьева,
к. э. н., SAW Components GmbH
Сергей Дзюбаненко,
к. т. н., GS Nanotech

Схожи ли понятия «полупроводниковая промышленность» и «микроэлектроника»? Во множестве российских источников зачастую данные дефиниции считают тождественными. Однако, по мнению авторов, понятие «микроэлектроника» шире понятия «полупроводниковая промышленность», поскольку к микроэлектронике относятся изделия не только на основе полупроводниковой, но и других технологий (MEMS, изделия функциональной электроники). В данной статье при рассмотрении мирового рынка использовалось понятие semiconductor industry. В анализ российского рынка были включены изделия со следующими кодами ТНВЭД: 8542 — «схемы интегральные, электронные», 8541 — «диоды, транзисторы и аналогичные полупроводниковые приборы».

МИРОВОЙ РЫНОК

С момента изобретения транзистора в 1947 году полупроводниковая промышленность остается процветающей отраслью с объемом производства в \$440,4 млрд в 2020 году [1], которая дала толчок для роста и развития практически всей современной индустрии. Вопреки глобальному кризису 2020 года, полупроводниковая промышленность оправилась от спада 2019-го (рост составил 6,8%) [1] и в ближайшее время будет стремительно развиваться. По прогнозам WSTS, в 2021 году мировой рынок полупроводниковых приборов вырастет на 8,4%, в основном благодаря значительному увеличению выпуска элементов памяти и оптоэлектроники [2]. Ожидается, что по всем остальным категориям продукции и во всех регионах будет также наблюдаться положительная динамика. На рис. 1 представлен мировой объем производства полупроводниковой промышленности за 2010–2021 гг.

РОССИЙСКИЙ РЫНОК

При анализе российского рынка следует отметить, что дать его оценку довольно сложно не только в силу отсутствия структурированных данных на сайте государственной статистики — ЕМИСС, но и в связи со сложностью определения, что относится к рынку полупроводниковой промышленности в силу незначительного числа позиций, имеющихся в основных товарных классификаторах. Вопрос о необходимости более четкого разделения

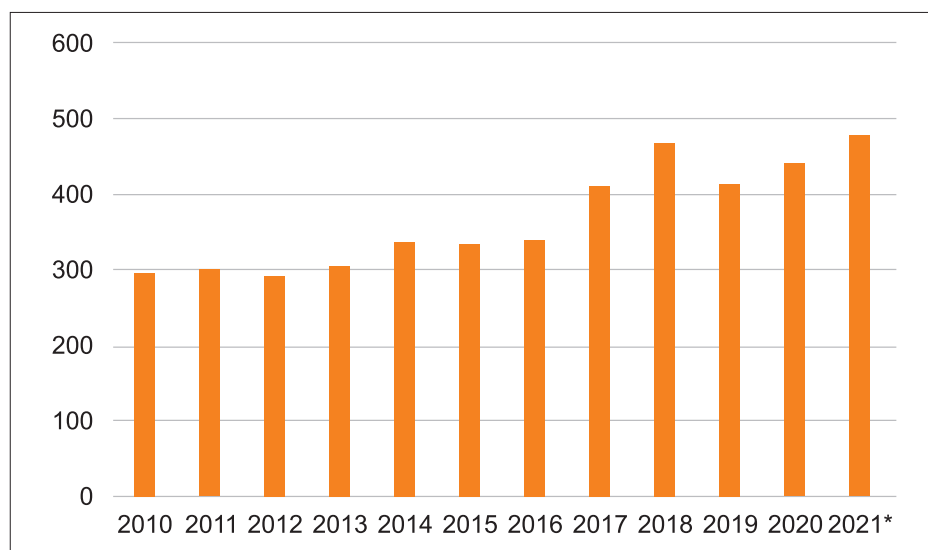


Рис. 1. Объем производства мирового рынка полупроводниковой промышленности 2010–2021 гг. и прогноз на 2021 г. (млрд \$)
Источник: SIA, WSTS, Statista

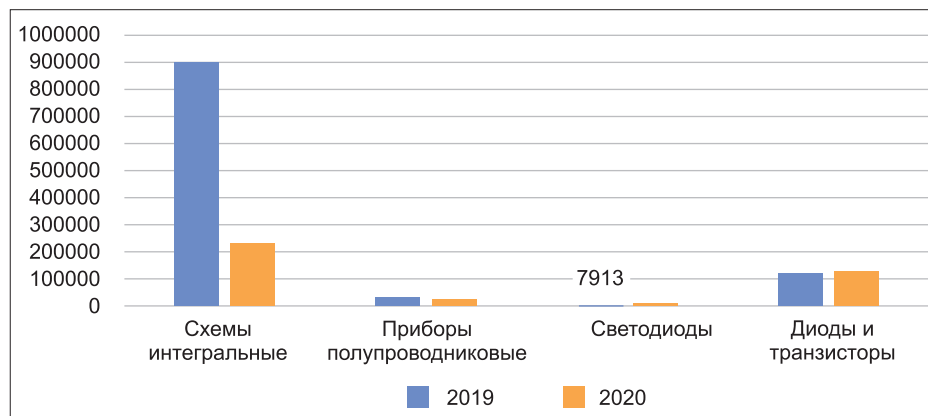


Рис. 2. Объем производства изделий полупроводниковой промышленности в России за 2019 и 2020 гг. в натуральном выражении (тыс. шт.)
Источник: ЕМИСС

продукции, составляющей направление «полупроводниковая промышленность» в рамках таких классификаторов, как ТНВЭД, ОКВЭД, ОКПД2, последнее время активно поднимается в сообществах по электронике. Причем исследовательская работа по данной теме проводилась еще около семи лет назад, однако так и не была завершена. Расширение классификаторов позволит не только осуществлять качественную аналитику, но и точно обеспечивать отрасль необходимыми и своевременными мерами государственной поддержки.

Кроме того, сложность оценки отечественного рынка, несмотря на наличие большого числа ассоциаций производителей электроники в России, заключается в том, что, в отличие от других стран, у нас в открытых источниках отсутствуют данные по основным показателям российского рынка. Таким образом, в статье при рассмотрении объема производства внутри России мы остановились на таких группировках, представленных в ЕМИСС, как «диоды и транзисторы», «интегральные схемы» и «полупроводниковые приборы».

По оценке, основанной на данных ЕМИСС, в 2020 году рынок производства полупроводникового оборудования достиг примерно \$2,7–3 млрд [3], что составляет порядка 0,7% мирового рынка. Однако в 2019 году этот показатель составлял около \$8 млрд (около 1,6% мирового рынка). Разница заключается в снижении объема производства интегральных схем. Для сравнения: объем рынка производства США за 2020 год составил \$95,4 млрд (рост 21,3% по сравнению с 2019-м), Японии — \$36,5 млрд (рост 1,3%), Китая — \$151,5 млрд (рост 4,8%), Тайваня — \$29,8 млрд (рост 16,9%) [4]. На рис. 2 и 3 представлен объем производства изделий полупроводниковой промышленности в России в 2019 и 2020 гг. в натуральном и денежном выражении соответственно.

Следует отметить значительное снижение производства интегральных схем в 2020 году, по данным государственной статистики по сравнению с предыдущими годами: так, в 2017-м было произведено 962 256 тыс. штук, а в 2018-м — 1032267 тыс. штук.

Российский импорт за тот же период в рамках рассматриваемых в статье кодов ТНВЭД составил \$1,46 млрд в 2019 году и \$1,48 млрд в 2020-м [5]. На рис. 4 представлен объем импорта в Россию основных изделий полупроводниковой промышленности в 2019 и в 2020 гг.

Распределение импорта в 2020 году представлено следующим странами. По импорту

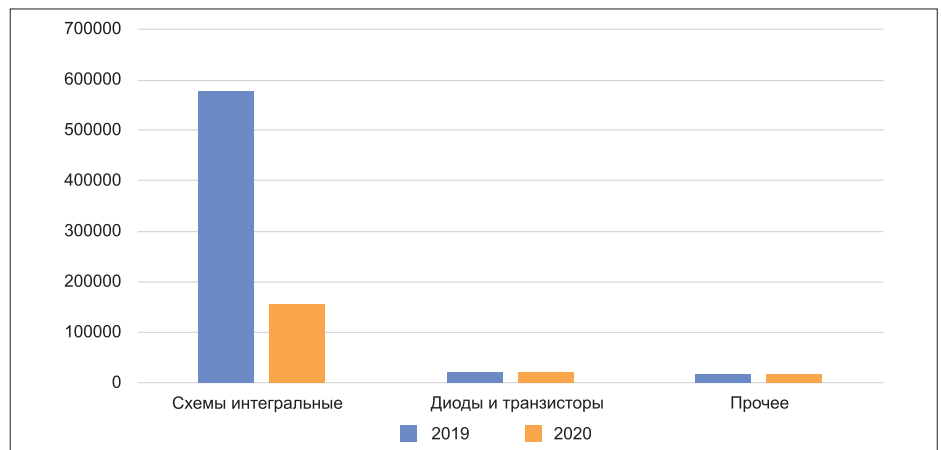


Рис. 3. Объем производства изделий полупроводниковой промышленности в России за 2019 и 2020 гг. в денежном выражении (млн руб.)
Источник: ЕМИСС

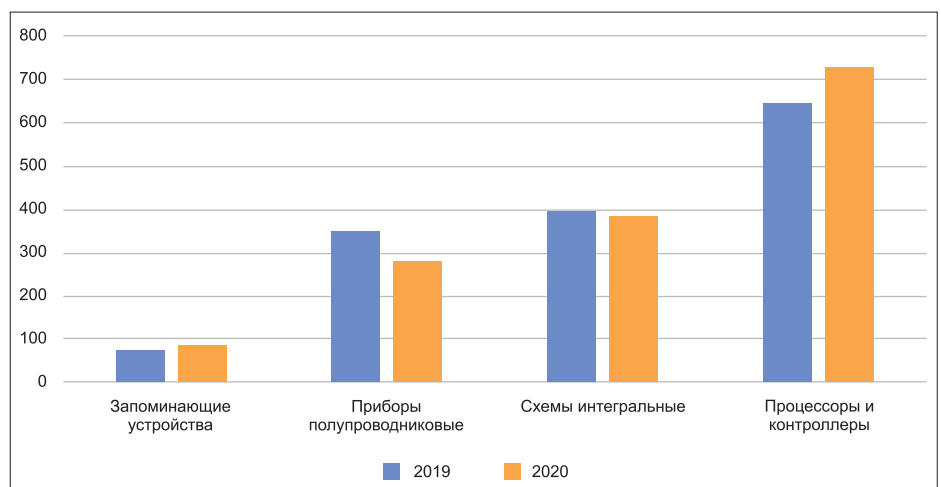


Рис. 4. Объем импорта изделий полупроводниковой промышленности в Россию за 2019 и 2020 гг. в денежном выражении (млн \$)
Источник: statimex.ru

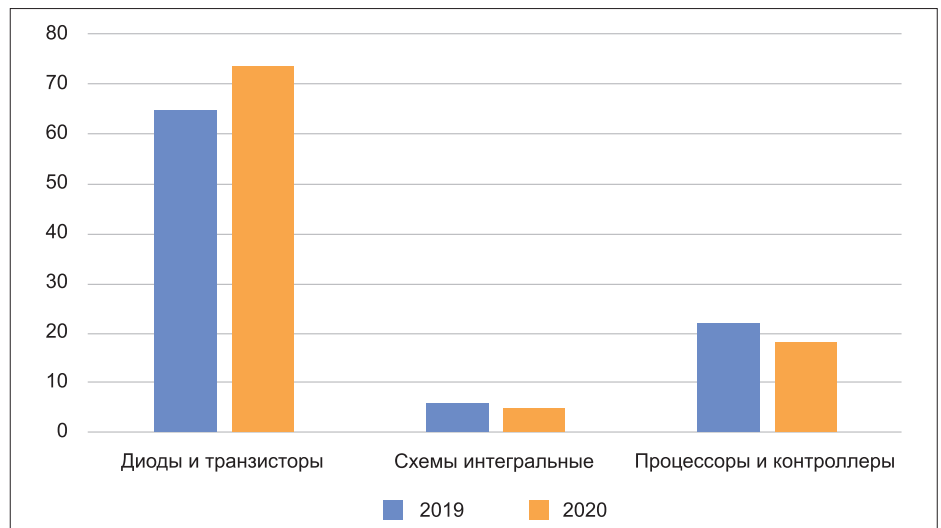


Рис. 5. Объем экспорта изделий полупроводниковой промышленности из России за 2019 и 2020 гг. в денежном выражении (млн \$)
Источник: statimex.ru

диодов и транзисторов: Китай (\$248,1 млн), США (\$27,2 млн), Япония (\$21,73 млн), в 2019 году на третье место занимала Германия. По интегральным схемам по коду 8542: Малайзия (\$257,1 млн), Китай (\$244,9 млн) и Вьетнам (\$214,15 млн), в 2019 году на позиции на-

ходился Тайвань. В разрезе же процессоров и контроллеров странами-лидерами считаются Вьетнам (\$213 млн), Малайзия (\$191 млн) и Китай (\$160 млн).

Показатели российского экспорта не столь велики: \$92,61 млн в 2019 году и \$96,3 млн

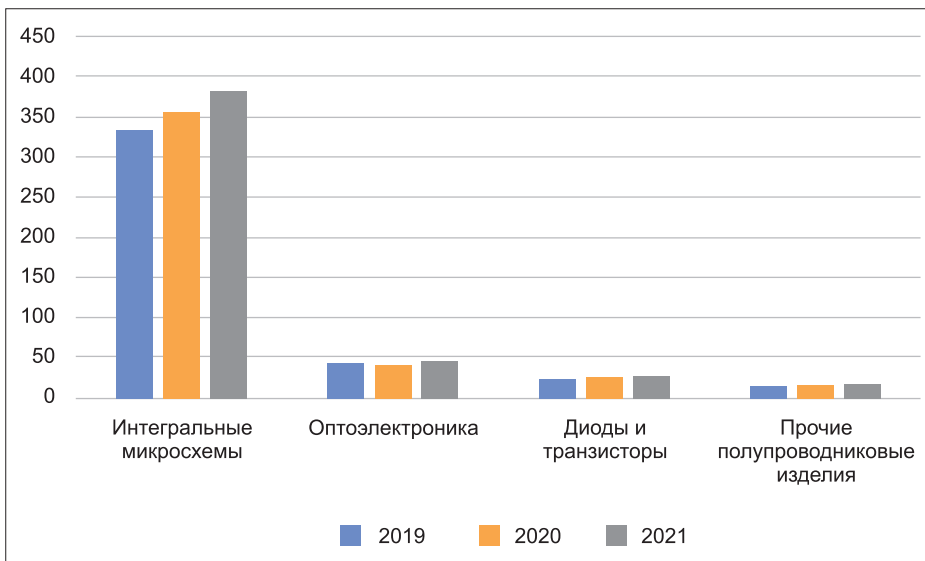


Рис. 6. Объем мирового производства полупроводниковой промышленности 2019–2021 гг. в денежном выражении (млрд \$) по сегментам. 2021 г. — прогноз. Общие данные по рынку за 2020 г. разнятся с данными SIA, так как данные SIA представлены с корректировкой, опубликованной в марте 2021 г. Источник: WSTS

в 2020-м. На рис. 5 представлены объемы экспорта России полупроводниковой продукции в денежном выражении за 2019 и 2020 год.

Основные страны импортеры: Беларусь, Индия, Казахстан. Однако по процессорам и контроллерам импортерами в 2020 году стали Германия и Нидерланды с \$5,14 млн и \$3,3 млн соответственно.

МИРОВОЙ И РОССИЙСКИЙ РЫНКИ В ПРОДУКТОВОМ РАЗРЕЗЕ

Основной продукт полупроводниковой промышленности на мировом рынке — интегральные схемы, которые составили более 80% всех продаж отрасли в 2019 году [6]. В 2020 году объем интегральных схем в производстве достиг \$354,5 млрд, оптоэлектроники — \$40,49 млрд, диодов и транзисторов — \$23,59 млрд, прочих полупроводниковых приборов — \$14,5 млрд [7]. На рис. 6 представлен объем производства мирового рынка полупроводниковой промышленности по направлениям за период 2019–2021 гг.

Как можно заметить, в 2021 году по всем направлениям ожидается существенный рост мирового рынка.

С точки зрения конечного использования полупроводниковой продукции, потребление в сфере коммуникационного оборудования в 2019 году составило около 33%, в компьютерной технике — 28,5%, в прочей бытовой электронике — 13,3%. Автомобильная промышленность потребила около 12,2% полупроводников, промышленность в целом — 11,9%, сектор ВПК — 1,3% [8].

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВА

Ни для кого не секрет, что важным показателем степени развития полупроводниковой промышленности в стране является уровень освоенной технологической нормы. Так, китайская компания SMIC в настоящее время активно осваивает технологический процесс 14 нм, тайваньский TSMC уже производит продукцию на 7 и 5 нм. Южная Корея идет в ногу с TSMC и также изготавливает продукцию с топологией 7 нм, одновременно

осваивая технологию 5 нм. В то же время в США запланировано строительство фабрики под 5 нм на период 2024–2029 гг., а Intel участвует в гонках по производству изделий на 7 нм, но сталкивается с трудностями, объявив в июле 2020 года, что производство микросхем следующего поколения будет отложено до 2021 года. Таким образом, самыми передовыми фабриками в области производства полупроводников в настоящее время считаются Samsung (Южная Корея) и TSMC (Тайвань). Эти отраслевые лидеры к середине 2020-х годов планируют переход на топологию 3 нм [9].

На российском рынке предприятием ПАО «Микрон» освоен техпроцесс 90 нм, который соответствует уровню полупроводниковой технологии, достигнутой в мире в 2002–2003 годах (Intel Pentium 4, Prescott). Также для опытно-конструкторских разработок компанией освоен технологический процесс на 65 нм. Для снижения освоенного уровня топологических норм в январе 2020 года в России утверждено строительство фабрик, способных выпускать чипы с топологией 28 нм и ниже (вплоть до 5 нм). Создание первой фабрики с топологией 28 нм обсуждается на базе предприятия «Ангстрем-Т», но до сих пор стоит вопрос по поставке оборудования для фабрики в связи с санкционной политикой [10]. Пока технологии осваиваются, все разработчики отечественных чипов («Эльбрус», «Байкал» и др.) вынуждены заказывать выпуск продукции за рубежом. В таблице представлена сводная информация по производству полупроводников в разрезе имеющихся у стран топологических возможностей.

Процесс выпуска полупроводниковой продукции условно можно разбить на три основных этапа: проектирование интегральной схемы, кристалльное производство и корпусирование. Первое и последнее направления в России развиваются достаточно активно. Возьмем, к примеру, корпусирование интегральных схем — неотъемлемый технологический передел производства микроэлектрони-

Таблица. Производство полупроводников в разрезе имеющихся у стран топологических возможностей

Топология (НМ)	180	130	90	65	45/40	32/38	22/20	16/14	10/7	5* (мелкая серия)
США	24	18	11	8	4	4	4	4	2 (Intel (10 нм))	
Южная Корея	4	4	3	2	2	2	2	2	2 (Samsung, SK Hynix)	1 (Samsung)
Тайвань	9	9	6	6	6	6	5	3	1 (TSMC)	1 (TSMC)
Япония	18	10	7	6	5	1	1	1 (Kioxia)		
Китай	19	18	16	13	8	6	3	1 (SMIC)	1 (SMIC)	
Другие	20	13	5	1	1	1	1	1	1 (GF)	
Всего	94	72	48	36	26	20	16	12	7	2

Примечание. Некоторые компании, указанные в вышеприведенной таблице, обладают производственными мощностями, расположенными в странах, не входящих в состав их штаб-квартиры, но включенными в итоговые показатели по странам. Китайская SMIC отмечена как компания, обладающая технологией ниже 10 нм, хотя пока она только пытается ее освоить.
 Источник: Triolo P., Allison K., The geopolitics of Semiconductors. September 2020.

ки, без которого невозможно представить технологическую независимость страны в вопросе производства ИС. Данный этап изготовления интегральных схем становится особенно важным в условиях возможного ограничения доступа российских производителей к технологическим возможностям зарубежных контрактных производителей по корпусированию микроэлектроники.

На отечественном рынке представлено несколько предприятий, реализующих процесс корпусирования интегральных схем в широкую номенклатуру корпусов: АО «НИИПП», АО «Группа Кремний Эл», АО «ДжиЭс-Нанотех» и другие компании. Уровень технологии этих предприятий позволяет говорить, что в настоящий момент не существует технических ограничений для локализации передела по корпусированию ИС в России. В то же время, несмотря на наличие необходимых технологий, производственные мощности этих предприятий, которые можно считать полноценными OSAT (Outsourced Semiconductor Assembly And Test — контрактными производствами по корпусированию и тестированию интегральных схем) недогружены. Российские дизайн-центры и кристалльные производства предпочитают корпусировать свои изделия в Юго-Восточной Азии, даже если речь идет об изделиях специального и двойного назначения. Предприятия делают это, ссылаясь на более низкие цены на подобные услуги за рубежом, что в свою очередь создает замкнутый круг, который способны разорвать лишь механизмы стимулирования со стороны государства.

МЕРЫ ФИНАНСОВОЙ ПОДДЕРЖКИ ОТРАСЛИ

Следует отметить, что разрабатывать новые технологические процессы возможно только при достаточном уровне финансирования как государственного, так и частного характера. Так, на постройку нового завода (или заводов, в зарубежной прессе проходит информация о постройке двух заводов) в Аризоне (США) под 5 нм будет инвестировано порядка \$55 млрд, из них \$35 млрд [11] — затраты TSMC, а \$20 млрд — затраты Intel [12]. Если говорить о государственном финансировании, то в конце прошлого года в США был принят закон «CHIPS for America», согласно которому для решения вопросов, связанных с повышением конкурентоспособности американской полупроводниковой промышленности, создается Национальный центр полупроводниковых технологий с выделенным бюджетом в \$3 млрд до 2030 года. Кроме

того, министерству обороны, министерству энергетики и другим министерствам разрешено выделять около \$2–5 млрд на разработки в сфере полупроводниковой промышленности в срок до 2025 года [13]. На данный момент общий объем финансирования программы составляет порядка \$22 млрд [14]. Правительство также планирует привлечь инвестиции частных компаний для реализации задуманной программы.

В развитие китайской полупроводниковой промышленности в период 2014–2019 гг. было вложено около \$50 млрд [15]. А в текущей ситуации, понимая те сложности, которые их ожидают, власти КНР в следующие пять лет намереваются предоставить отрасли гигантскую финансовую поддержку размером в \$1,4 трлн [16]. В 2020 году приток денежных средств в китайские полупроводниковые компании составил около \$35,2 млрд через государственный и частные инвестиции. Кроме того, правительства провинций учредили контрольные фонды на общую сумму более \$45 млрд для поддержки местной полупроводниковой промышленности [17]. Также Китай использовал свой огромный рынок частного капитала, открыв финансовый рынок инвесторам для поддержки высокотехнологичных компаний, которые еще не приносят прибыли. В 2020 году 32 компании по производству микросхем стали публичными на китайском рынке акций [17].

Что касается Европы, она, по мнению западных экспертов, значительно отстает в развитии полупроводниковой промышленности от мировых лидеров. На ее долю приходится только 10% рынка. Для решения этой проблемы в рамках инициативы стран ЕС планируется выделить государственную поддержку до 2025 года в размере \$173 млрд на цифровые проекты, в том числе для инвестирования в процессоры и полупроводниковые технологии, которые являются основой для технологий «Интернета вещей» и обработки данных [18]. Цель данного финансирования — обеспечение доступа к сети 5G и онлайн-госуслугам каждого домохозяйства к 2030 году, а также разработка квантового компьютера. Кроме того, европейские страны планируют поддержать местное производство технологического оборудования для полупроводниковой промышленности с помощью адресной поддержки, которая может привести к общим инвестициям в размере примерно \$60 млрд. Ожидается, что компании будут вносить 60–80% общих инвестиций, при этом государственные субсидии из стран — членов ЕС составляют 20–40% [19].

В нашей стране на всю «дорожную карту» по развитию отечественной микроэлектроники на период до 2024 года, по мнению ГК «Ростех», необходимо потратить около \$10,6 млрд [20]. Однако, по словам Председателя Правительства РФ Михаила Мишустина, инфраструктурные инвестиции в развитие отечественной микроэлектроники в ближайшие два года составят \$2 млрд. Общие инвестиции до 2024 года, связанные с микроэлектроникой, составят примерно \$3,6 млрд [21].

Одна из основных проблем российского рынка — незначительная доля частных инвестиций, причем как российских, так и зарубежных. Не стоит забывать, что увеличение доли подобных инвестиций послужило сильным толчком для развития микроэлектроники на Тайване, в Южной Корее, Сингапуре, Малайзии, Китае [22]. Однако предлагаемый в настоящее время объем финансирования отечественными компаниями далек от необходимого (\$3,3 млн от компании). К тому же данный шаг скорее можно рассматривать как оплату за отсрочку введения требования внедрения отечественного оборудования, что допустит дальнейшее использование иностранных процессоров [23]. Однако следует отметить, что понимание необходимости прямого привлечения частных инвестиций стало исходить от компаний, что должно дать свои положительные результаты.

По данным экспертов, расходы на НИОКР в рамках отдельных компаний в полупроводниковой отрасли в 2021 году вырастут на 4% по сравнению с 2020 годом и составят \$71,4 млрд по сравнению с \$68,4 млрд в 2020 году. Компания Intel продолжает лидировать среди поставщиков полупроводников по расходам на НИОКР в 2020 году показатель составил примерно \$12,9 млрд [24]. В сравнении с Intel тайваньская TSMC в 2019 году потратила порядка \$3,2 млрд на разработки, из них 70% пошли на освоение технологий новой топологии 3 нм и 3D IC для модулей системы в корпусе. В 2020 году рассматриваемый показатель составил \$3,7 млрд [25].

В то же время компания Samsung в 2020 году увеличила свои расходы на НИОКР на 19% до \$5,6 млрд отчасти потому, что активизировала разработку топологий 5-нм и ниже, чтобы достойно конкурировать с TSMC [26].

Среди лидеров полупроводниковой отрасли по вложениям в НИОКР компании Intel, Samsung, Broadcom, Qualcomm, Nvidia, TSMC, MediaTek, Micron, SK Hynix и AMD, которые в совокупности увеличили свои расходы на исследования и разработки на 11% в 2020 году

до \$43,5 млрд, что составило 64% от общего объема по отрасли [26].

На российском рынке расходы полупроводниковых компаний на НИОКР зачастую в 100, а то и в 1000 раз меньше.

МЕРЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ НЕФИНАНСОВОЙ ПОДДЕРЖКИ

В настоящее время как Европа, так и США активно занялись вопросами развития полупроводниковой промышленности в своих странах. Разрабатываются дорожные карты, выпускаются законы. Наряду с прямым финансированием государственных программ, правительства оказывают косвенную поддержку производств путем предоставления налоговых льгот, льготных кредитов на закупку технологий и специального технологического оборудования, государственных гарантий инвесторам, а также посредством сокращения срока амортизации специального технологического оборудования и защиты внутреннего рынка от импорта.

Направления государственной поддержки полупроводниковой отрасли во многом зависят от выбранной модели: *foundry* или *fabless*. Например, азиатские страны, такие как Корея, Тайвань, Япония, сосредоточились на выпуске компонентов, то есть используют *foundry*-модель. Несмотря на невысокий уровень прибыльности, за счет масштаба и высокой унификации крупнейшим компаниям этого сектора удается поддерживать необходимую рентабельность. Российские производители практически полностью вытеснены из этого направления из-за отсутствия производственных возможностей. По мнению ряда экспертов, развитие данного пути — направление очень конкурентное и затратное, на котором у нашей страны сейчас нет шансов на успех: столь велико отставание от лидеров. Возможно, в будущем появится ряд отечественных фабрик, поскольку государственный заказ будет расти по мере цифровизации государственных служб и транспортных систем. Однако говорить о существенном объеме экспорта данной продукции вряд ли придется.

Так называемую *fabless*-модель реализуют многие развитые страны, отдав массовое производство компонентов на откуп компаниям из Азии, сфокусировавшись на разработке дизайна для своих изделий. Россия тяготеет именно к этой модели развития. Данную гипотезу подчеркивает не только рост числа дизайн-центров за последние пять лет, но и введение налоговых льгот для организаций, чья деятельность связана с проектированием и разработкой изделий электронной компонентной базы и электронной продукции.

К мерам поддержки относятся снижение ставки страховых взносов с 14 до 7,6%, а также налога на прибыль с 20 до 3% [27]. Однако если мы обратимся к зарубежному опыту, налоговые преференции и государственное субсидирование — небольшая толика мер, которые государство может оказать для поддержки отрасли. Среди мер нефинансовой поддержки, используемых в то или иное время в мире, можно отметить разработку и популяризацию бренда «Сделано в ...», поощрение сотрудничества с зарубежными партнерами, развитие деятельности ассоциаций для привлечения МСП к крупным проектам, создание национальных исследовательских лабораторий и единого пространства полного цикла производства электронной продукции, повышение интереса молодежи к электронике, вложения в человеческий потенциал и многое другое. Конечно, очень многие государства вводили ограничения на использование иностранной продукции и необходимость подтверждения происхождения изделий. В России этот принцип реализован в постановлениях Правительства № 719 и № 616. Однако реализуемых мер недостаточно — например, с помощью введения обязательных требований по корпусированию для подтверждения статуса производства интегральных схем в РФ, можно было бы создать условия для поэтапного перевода процесса производства интегральных схем в РФ. Пока данный механизм стимулирования лишь набирает обороты в России.

ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

В общем же развитие полупроводниковой промышленности в России, по мнению ряда экспертов отрасли, затруднено наличием ряда проблем, среди них:

- мелкосерийность производства и низкая загрузка мощностей;
- высокий физический износ активной части основных фондов;
- устаревшая экспериментально-лабораторная база;
- отсутствие отечественной базы производства специального технологического оборудования, затрудняющее разработку новых уровней технологии;
- незначительное число отечественных компаний, занимающихся производством технологических материалов;
- отсутствие отечественного программного обеспечения для проектирования интегральных схем;
- слабая интеграция с мировым сообществом. В данном случае политика импортозамещения имеет свои отрица-

тельные стороны. Полупроводниковая промышленность сегодня находится в той стадии, когда невозможно говорить о самостоятельном развитии отрасли внутри одной страны, а ограничения могут привести к невозможности развития новых направлений;

- работа на рынках с искусственно ограниченной конкуренцией;
- низкий уровень кооперации в отрасли.

Несмотря на все проблемы, в России сохранились конкурентоспособные научные и инженерные школы в таких направлениях как силовая, СВЧ- и оптоэлектроника, квантовые телекоммуникации, которые способны создавать и производить решения, востребованные не только в России, но и в мире. Однако зачастую это продукты, имеющие узкий специфичный рынок сбыта. Также стоит отметить, что, несмотря на утечку мозгов, Россия все еще обладает квалифицированными кадрами.

Ближайшие пять лет на рынке электроники станут весьма интересными не только из-за последствий санкций США против Китая и перетасовки производственных площадок, развития новых топологических норм и активного внедрения облачных технологий и 5G, но и в силу того, что в определенной степени будет решаться судьба отечественной микроэлектронной промышленности. Сможем ли мы найти свой «голубой океан» на рынке или все же нам придется забыть про возможность развития отечественной полупроводниковой промышленности на всех рынках кроме ВПК? Заложенную за последние 10 лет базу нельзя назвать успешной, но она есть — на рынок выводятся процессоры «Байкал» и «Эльбрус», создаются новые дизайн-центры, появляется все больше частных компаний, занимающихся разработкой и производством электронных компонентов и изделий, предприятия наконец-то начинают объединяться в «живые» ассоциации. По мнению экспертов отрасли, у России есть шанс найти свой «голубой океан», но для этого должны быть соблюдены следующие условия:

- открытый доступ к возможностям мировой микроэлектроники;
- грамотно продуманное государственное финансовое и нефинансовое стимулирование как новых, так и существующих компаний по созданию спроса на новом рынке;
- возможность привлечения венчурного капитала, а как следствие, необходимость повышения привлекательности для инвестирования отечественной микроэлектроники;

- привлечение высококлассных специалистов, в том числе и из-за рубежа, как в области электроники, так менеджмента и маркетинга, для создания столь необходимого российской электронике рынка сбыта мирового масштаба.

Авторы благодарят за активное участие в написании статьи Д. Боднаря (АО «Синетез Микроэлектроника») и К. Томашпольского (Advanide Europe GmbH).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Global Semiconductor Sales Increase 6.5% to \$439 billion in 2020.* www.semiconductors.org/global-semiconductor-sales-increase-6-5-to-439-billion-in-2020/

2. *WSTS Semiconductor Market Forecast Autumn 2020.* www.wsts.org/76/Recent-News-Release

3. *Сайт Государственной статистики ЕМИСС.* www.fedstat.ru/indicator/57783. Показатель рассчитывался исходя из данных объема производства в натуральном выражении и средних цен производителей за 2020 г.

4. *TSIA Q4 2020 and Year 2020 Statistics on Taiwan IC Industry.* February 22, 2021.

5. *Сайт таможенной статистики РФ* <https://statimex.ru>

6. *Bown C. How the United States marched the semiconductor industry into its trade war with China.* Working Paper 20-16. December 2020.

7. *WSTS Semiconductor market forecast fall 2020.*

8. *Данные ассоциации SIA, 2020.*

9. *Triolo P., Allison K. The geopolitics of Semiconductors.* September 2020.

10. *Кантыш П. Минпромторг хочет спасти банкротящийся завод «Ангстрем-Т».* www.vedomosti.ru/technology/articles/2019/05/23/802334-min-promtorg-spasti

11. *Brown P. Report: TSMC plans to now spend \$35B in Arizona fab.* www.electronics360.globalspec.com/article/16465/report-tsmc-plans-to-now-spend-35b-in-arizona-fab

12. *McGee P. Intel to step up chip manufacturing with \$20bn plants.* *Financial Times.* www.ft.com/content/987b5761-6b59-48f3-8f52-52a4fb84264e

13. *H. R.7178 — CHIPS for America Act.* www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/7178/text

14. *Van Blokland H. Manufacturing Microchips: Why The COVID-19 Pandemic Has Led To A Global Shortage Of The Tiny Technology.* www.kjzz.org/content/1670178/manufacturing-microchips-why-covid-19-pandemic-has-led-global-shortage-tiny

15. *China. Riding the silicon ox?*, 09 February 2021. www.eulerhermes.com/en-global/news-insights/economic-insights/China-Riding-the-silicon-ox.html

16. *Бондарь Д. Полупроводниковая микроэлектроника — 2020. Часть 1. Мировая пандемия COVID-19 — форс-мажор для мировой экономики, но не микроэлектроники//Электронные компоненты.* 2020. № 12.

17. *Sheng W. Where China is investing in semiconductors, in charts.* www.technode.com/2021/03/04/where-china-is-investing-in-semiconductors-in-charts

18. *Alexander M., Kirschstein T. A path to success for the EU semiconductor industry.* www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/A-path-to-success-for-the-EU-semiconductor-industry.html

19. *Nienaber M. Germany predicts chip investments of up to 50 billion euros in Europe.* www.reuters.com/article/us-europe-germany-chips-idUSKBN2A32KG

20. *Механик А. Догоняя уходящий поезд//Эксперт.* 2020. № 39.

21. *Мишустин верит, что радиоэлектронику в России удастся восстановить.* www.rosbalt.ru/business/2020/09/30/1865901.html

22. *Бондарь Д. Российская микроэлектроника и ее фантомные цели.* www.mka.ru/categories/75/18410/

23. *Приключения микроэлектроника.* www.kommersant.ru/doc/4741073?fbclid=IwAR3-kNJ9brjQ0v9nHlF2FIUI7bHl0oFlz0MF5nW_k0qex0hcyfqSPbbptUE

24. *Manners D. Semiconductor R&D spend to rise 4%.* www.electronicweeky.com/news/business/semiconductor-rd-spend-rise-4-2021-01/

25. *Wang L. TSMC boosts R&D to hold lead.* www.taipeitimes.com/News/biz/archives/2020/04/23/2003735105

26. *Manners D. Semiconductor R&D spend to rise 4%.* www.electronicweeky.com/news/business/semiconductor-rd-spend-rise-4-2021-01

27. *Бахур В. Российские разработчики микроэлектроники попали под «налоговый маневр для ИТ».* www.cnews.ru/news/top/2021-01-06_rossijskie_razrabotchiki