

# Контрактное производство ИС. Ведущие мировые кремниевые заводы развивают мощности

М. Макушин<sup>1</sup>

УДК 621.37 | ВАК 2.2.2

На рынке услуг кремниевых заводов (контрактное производство ИС) начинают происходить серьезные подвижки. Они во многом связаны с противостоянием КНР и США. Вводимые против КНР санкции подрывают позиции китайских кремниевых заводов. Нагнетаемое США напряжение вокруг Тайваня способствует размещению новых мощностей тайваньских кремниевых заводов на территории США с выводом туда части научно-исследовательского и производственного персонала (вместе с семьями). Принятие 9 августа 2022 года в США закона CHIPS and Science Act побуждает американские фирмы расширять производственную базу на территории своей страны, причем значительная их часть будет работать по модели кремниевого завода. Наконец, на рынок кремниевых заводов выходит один из крупнейших производителей ИС – корпорация Micron Technology.

**Б**изнес-модель кремниевого завода (foundry) предполагает не просто контрактное производство ИС по спецификациям заказчика. Она значительно шире. В частности, она предусматривает предоставление заказчику инструментальных средств САПР фирм-поставщиков этих средств, сотрудничающих с данным кремниевым заводом. Это дает заказчику возможность проектирования собственных ИС с использованием широкой базы библиотек стандартных элементов, платформ и сложно-функциональных (СФ) блоков на основе технологических процессов кремниевого завода. Кремниевые заводы могут разрабатывать новые технологические процессы, но разработкой собственных конструкций ИС, как правило, не занимаются.

Само возникновение кремниевых заводов восходит к 1970-м годам, когда из традиционных вертикально-интегрированных электронных фирм выделились поставщики полупроводниковых приборов, занимавшиеся полным циклом их производства – от разработки и проектирования до производства и маркетинга (IDM). В этот момент происходило бурное развитие рынка электронной аппаратуры, на котором формировались сегменты, требующие производства малых и средних партий специализированной конечной аппаратуры для определенного круга заказчиков. Соответственно, требовались малые и средние

партии специализированных ИС (ASIC). При этом IDM в основном занимались массовым производством стандартных ИС и не всегда могли удовлетворить требования изготовителей комплектного оборудования (OEM) в плане поставки именно ASIC, либо их ASIC оказывались слишком дорогими (расходов, связанных с поддержкой собственной производственной базы). Это привело к появлению fabless-фирм, занимавшихся исключительно проектированием ИС. Но для них не всегда находились свободные мощности IDM с подходящим технологическим процессом. Дефицит мощностей породил спрос на бизнес-модель кремниевого завода. Причем «чистого» кремниевого завода (pure-play foundry) [1].

В настоящее время кремниевые заводы завоевывают все большую долю в производственной базе мировой полупроводниковой промышленности и в продажах полупроводниковых приборов. Например, по итогам III кв. 2022 года, крупнейший кремниевый завод, TSMC, вышел на первое место, обогнав Intel и Samsung [2].

Наибольшее распространение модель кремниевого завода получила на Тайване, в КНР и Южной Корее. В последнее время все больший интерес к развитию этой модели на своей территории проявляют США. Так, корпорация Intel в сентябре 2021 года начала строительство двух новых кремниевых заводов для своего специализированного подразделения – Intel Foundry Services (IFS) [3] в Чэндлере (шт. Аризона) общей стоимостью 20 млрд долл., а в конце 2022 года планировала начать строительство еще двух аналогичных

<sup>1</sup> НОБ «Военные науки и оборонная промышленность» БРЭ, научный редактор.

предприятий на такую же сумму в Колумбусе (шт. Огайо). В рамках создания замкнутой национальной экосистемы микроэлектроники в США 9 августа 2022 года был принят Закон о создании полезных стимулов для производства полупроводниковых приборов и развития науки (Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors and Science Act, CHIPS and Science Act), в котором также подтверждается необходимость использования данной бизнес-модели [4].

После принятия этого закона и с учетом возможности получения предусмотренных в законе субсидий корпорация Micron Technology решила использовать бизнес-модель кремниевого завода на ряде строящихся и планируемых к строительству предприятий на территории США [5, 6]. Этот шаг может серьезно изменить расстановку сил на рынке услуг кремниевых заводов.

Также, способствуя обострению китайско-тайваньских отношений, США не только добились от TSMC создания нового кремниевого завода в США (должен вступить в строй в 2024 году), но и использования на нем более современных технологий – 3 нм вместо ранее планировавшихся 5 нм [7]. Это отход Тайваня от политики, в соответствии с которой все строящиеся за рубежом полупроводниковые предприятия должны отставать от современных заводов, расположенных на острове, как минимум на одно технологическое поколение. Обострение ситуации вокруг Тайваня также привело к тому, что вместо двух TSMC вполне может построить в США шесть заводов [8]. Наконец, вводя различные санкции против КНР [9], США сумели ослабить позиции китайских кремниевых заводов. Возникает тенденция смещения производственной базы кремниевых заводов из стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) на территорию США.

## ПОЧЕМУ ТАЙВАНЬ СТАЛ РОДИНОЙ КРЕМНИЕВЫХ ЗАВОДОВ?

Основа современного и будущего Тайваня была заложена десятилетия назад сменявшими друг друга лидерами в государственном и частном секторах. Им удалось преодолеть естественные и геополитические препятствия, представлявшие угрозу для выживания страны по окончании гражданской войны. Быстрый экономический рост Тайваня после отстранения от власти военных в 1960-х годах привел не только к вхождению острова в число государств, именуемых «азиатскими тиграми» (или новыми индустриальными странами – НИС), но и обеспечил ему устойчивые позиции в мировой экосистеме высокотехнологичных отраслей промышленности. При этом выбор высокотехнологичных отраслей в качестве приоритета определялся ограниченностью территории острова и скудностью природных ресурсов. По этой же причине Тайвань сосредоточился на разработке критических для высокотехнологичного сектора знаний и навыков. При этом многие знания и технологии добывались за рубежом – многие

тайваньские микроэлектронные/полупроводниковые фирмы были основаны выпускниками Стэнфордского университета и Массачусетского технологического института.

Аналогичный путь в послевоенный период прошли Япония, затем НИС – Гонконг, Сингапур, Тайвань и Южная Корея. Сходство способов их развития выражалось в следующем. Во-первых, государство активно участвовало в создании современной производственной базы микроэлектроники, особенно на начальном этапе, за счет прямого финансирования и налоговых льгот. Кроме того, на Тайване особую роль играл (и играет) Научно-исследовательский институт промышленных технологий (Industrial Technology Research Institute, ITRI). Во-вторых, большую роль играло доленое участие государства в собственности крупнейших производителей изделий микроэлектроники. В-третьих, имело значение активное проведение разноуровневых программ НИОКР, передача их результатов, реализуемых за государственные средства, национальной промышленности [10].

При развертывании на острове полупроводниковой промышленности предпочтение было отдано модели кремниевого завода – руководство страны и бизнес рассчитывали быстро захватить нишу мирового поставщика услуг кремниевого завода для fabless-фирм из различных стран, страдавших из-за дефицита производственных мощностей (что мешало им своевременно выводить на рынок свои новые ИС). Также на острове была развернута индустрия по оказанию услуг сборки, корпусирования и тестирования полупроводниковых ИС (OSAT), что позволило многим зарубежным производителям полупроводниковых приборов отдать островитянам на аутсорсинг эти операции, отличавшиеся тогда высокой трудоемкостью и малой добавленной стоимостью.

Индустрия кремниевых заводов отличается высокой капиталоемкостью, поэтому зачастую их создание происходило при участии государства. Так, Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. (TSMC) и United Microelectronics Co. (UMC) возникли на базе лабораторий ITRI по результатам программ НИОКР в области субмикронных процессов: UMC – в 1980 году (правда «чистым» кремниевым заводом эта фирма стала только в 1996 году), TSMC – в 1987 году. При этом образование этих фирм происходило «почкованием» (spin-off), то есть путем отделения от существующей (в данном случае ITRI) и передачи им части активов. Также в их капитале сохранялось значительное (в случае TSMC более 50%) государственное участие. В настоящее время TSMC занимает первое место в мировом рейтинге «чистых» кремниевых заводов, а UMC – третье [11].

Тайваньские кремниевые заводы успешно развивались – в 1997 году TSMC занимала 190-е место в рейтинге крупнейших компаний мира, Fortune Global-500, что выше, чем Volkswagen, Toshiba, Guinness и GEC с рыночной капитализацией около 20 млрд долл.

**Таблица 1.** Совместные предприятия (кремниевые заводы) по производству ДОЗУ, образованные в 1997 году

Тайваньская фирма	Иностранная фирма	Примечания
Mosel-Vitelic	Siemens (ФРГ)	СП-Pro-Mos Technologies, Siemens передал базовый КМОП-процесс изготовления ДОЗУ
Powerchip Semiconductor	Mitsubishi Electric (Япония)	Mitsubishi передала пакет технологий
Nan-Ya Technology (входит в Formosa Plastics)	Oki (Япония)	Технологический процесс иностранного партнера
Macronix*	Matsushita	Технологический процесс иностранного партнера
Winbond*	Toshiba	Технологический процесс иностранного партнера

\* На момент формирования СП использовали бизнес-модель IDM.

Успех TSMC породил целую волну в микроэлектронике: UMC построила четыре производственных комплекса для оказания услуг кремниевого завода – один в качестве полностью собственной производственной единицы, а еще три – United Semiconductor Corporation (USC), United Integrated Circuits Corporation (UICC) и United Silicon Inc (USIC) – в качестве совместных предприятий (СП).

Спрос на услуги тайваньских кремниевых заводов был так велик, что в 1997 году была основана компания Worldwide Semiconductor Manufacturing Company (WSMC) с капиталом более 1 млрд долл. и кредитной поддержкой 32-х местных банков. WSMC начал свою деятельность со строительства заводов по обработке пластин стоимостью в 2 млрд долл.

Кроме того, был создан ряд СП по производству ДОЗУ с зарубежными партнерами, передававшими в качестве своего вклада, прежде всего, современные технологические процессы (табл. 1).

Иностранные партнеры, предоставляя технологические процессы и услуги проектирования ИС, получали от своих тайваньских партнеров высокое качество производства. Кроме того, тайваньские кремниевые заводы обладали преимуществами в структуре затрат, что позволяло получить удельную прибыль как минимум на 15% большую, чем у любой полупроводниковой фирмы в другой стране. Эти преимущества обеспечивались высокой долей в численности занятых магистров и бакалавров в областях наук, необходимых в полупроводниковом производстве. Если на зарубежных фирмах существовала традиция жесткого следования сложившимся технологическим подходам, то на Тайване занятые поощрялись к использованию их интеллекта для поиска способов улучшения технологического процесса и производства в целом. Одним следствием такого подхода были самые высокие в мире коэффициенты использования оборудования и темпы инновационного процесса [12].

Так продолжалось до недавнего времени, пока США не начали «Холодную технологическую войну» с КНР, с одной стороны, и формирование замкнутой экосистемы

(в составе сегментов полупроводниковых материалов, оборудования, инструментальных средств САПР, СФ-блоков, разработки и производства ИС, независимых от остального мира) микроэлектроники на своей национальной территории – с другой.

## МЕСТО КРЕМНИЕВЫХ ЗАВОДОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

По данным Международной организации поставщиков оборудования и материалов для полупроводниковой промышленности (SEMI), в период с 2021 по 2023 год во всем мире на развитие производственной базы полупроводниковой промышленности будет затрачено более 500 млрд долл. Выделение этих средств подразумевает начало сооружения 84 предприятий (рис. 1) по изготовлению ИС (заводы по обработке пластин, предприятия сборки, корпусирования и тестирования ИС). Основными факторами роста спроса на ИС называются развитие секторов автомобильной электроники и высокопроизводительных вычислений. Географическая структура численности сооружаемых новых полупроводниковых предприятий в период с 2021 по 2023 год приведена в табл. 2.

Аналитики SEMI отмечают, что их оценки и прогнозы отражают растущую стратегическую важность полупроводниковых приборов для широкого спектра отраслей промышленности и стран по всему миру. Они также подчеркивают значительное влияние мер государственного стимулирования на расширение производственных мощностей и укрепление цепочек поставок.

Также следует отметить, что численность кремниевых заводов в общем числе новых полупроводниковых предприятий относительно скромна.

Комментируя данную таблицу необходимо отметить, что принятый в США Chips and Science Act вывел регион Америки на первое место по новым капитальным затратам, поскольку предусмотренные законом государственные инвестиции стимулируют создание новых мощностей



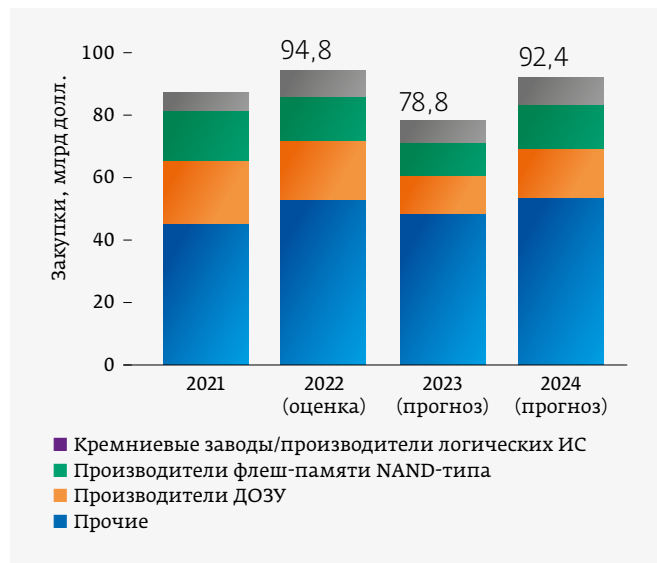
**Рис. 1.** Ежегодная численность строящихся полупроводниковых предприятий, за период 2019–2023 годов

по производству ИС и поддерживают экосистемы поставщиков. КНР, как ожидается, будет по-прежнему опережать все другие страны и регионы по числу новых предприятий по изготовлению ИС, но на них планируется использование зрелых технологических процессов. В странах Европы и Ближнего Востока инвестиции в новые полупроводниковые мощности в период 2021–2023 годов достигнут исторического для этого региона уровня – этому будет способствовать реализация «Закона о стимулировании разработки и производства ИС в Европе» (European Chips Act) [13].

Однако, если доля кремниевых заводов (производственных линий) в общей численности начинаемых строиться полупроводниковых предприятий не очень велика, то их доля в закупках оборудования, особенно для заводов по обработке пластин (формирование кристаллов ИС на пластинах), уверенно превышает рубеж в 50% (рис. 2).

Относительно географической структуры закупок оборудования аналитики SEMI отмечают, что по итогам 2022 года наибольший объем закупок оборудования пришелся на КНР, Тайвань и Южную Корею. Ожидается, что КНР сохранит первое место (которое она впервые заняла в 2020 году) и в 2023 году, а в 2024 году на этой позиции ее сменит Тайвань [14]. После 2024 года, когда в США и Европе начнут вводиться в строй заводы, строительство которых только начинается, ситуация начнет существенно меняться.

В настоящее время рынок услуг кремниевых заводов продолжает устойчиво развиваться. По данным ресурса TrendForce, в III кв. 2022 года он увеличился на 6% (табл. 3). В IV кв. 2022 года ожидался спад доходов, что могло бы прервать беспрецедентный ежеквартальный рост доходов, длившийся уже более двух лет (данных по IV кв. 2022 года



**Рис. 2.** Структура закупок оборудования заводами по обработке пластин

пока нет). Рынок кремниевых заводов отличается высокой степенью монополизации – на 10 ведущих компаний приходится 97% доходов, в том числе на пять из них – 89,6% данного рынка.

Комментируя табл. 3, стоит заметить, что на второе место уверенно вышла корпорация Samsung Foundry, специализированное foundry-отделение корпорации Samsung, крупнейшей IDM, оспаривающей в этом качестве первое место у корпорации Intel. В обозримом будущем весьма вероятно появление в верхних строках таблицы корпорации Intel Foundry Services (IFS), foundry-отделения корпорации Intel. В настоящее время идет строительство четырех

**Таблица 2.** Географическая структура численности начинаемых строиться новых полупроводниковых предприятий в период с 2021 по 2023 год

Страна/регион	Численность предприятий
Америка (Северная и Южная)	18
КНР	20
Европа/Ближний Восток	17
Тайвань	14
Япония	6
Страны Юго-Восточной Азии	6
Южная Корея	3

Таблица 3. Доходы 10 ведущих кремниевых заводов за III кв. 2022 года

Место	Фирма	Доходы, млрд долл.		Прирост, %	Доля рынка, %	
		III/2022	II/2022		III/2022	II/2022
1	TSMC (Тайвань)	20,163	18,145	11,1	56,1	53,4
2	Samsung (Южная Корея)	5,584	5,588	-0,1	15,5	15,4
3	UMC (Тайвань)	2,479	2,448	1,3	6,9	7,2
4	GlobalFoundries (США/ОАЭ*)	2,074	1,993	4,1	5,8	5,9
5	SMIC (КНР)	1,907	1,903	0,2	5,3	5,6
6	HuaHong Group (КНР)	1,200	1,056	13,6	3,3	3,1
7	PSMC (Тайвань)	0,561	0,656	-14,4	1,6	1,9
8	VIS (Тайвань)	0,438	0,520	-15,7	1,2	1,5
9	Tower (Израиль)	0,427	0,426	0,2	1,2	1,3
10	Nexchip (КНР)	0,371	0,478	-22,5	1,0	1,4
Итого по 10 фирмам		35,205	33,213	6,0	97,0	96,0

\* Штаб-квартира в США, капитал принадлежит ОАЭ.

новых кремниевых заводов, которые составят производственную базу IFC [15].

Относительно ближайших перспектив рынка кремниевых заводов представляет интерес прогноз IMARC Group, опубликованный в декабре 2022 года. В нем утверждается, что в 2023 году емкость рынка кремниевых заводов достигнет 112,9 млрд долл., а в период до 2028 года среднегодовые темпы прироста в сложных процентах (CAGR) составят 6,2%. Таким образом, в 2028 году рынок кремниевых заводов может приблизиться или даже превысить уровень в 150 млрд долл. [16].

### CHIPS AND SCIENCE ACT И НАЧАЛО СМЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БАЗЫ КРЕМНИЕВЫХ ЗАВОДОВ В США

После принятия в августе CHIPS and Science Act (его по-прежнему часто называют, как и первоначальный вариант, просто CHIPS Act, ввиду незначительности различий) многие производители, и прежде всего Intel, Micron, Samsung и TSMC, объявили о планах строительства в США новых производств (табл. 4). При этом все новые производства этих четырех корпораций будут использовать бизнес-модель кремниевых заводов, привлекая к производству ИС по своим технологическим процессам максимально возможное число fabless-фирм и других партнеров. То есть они составят обновленную производственную базу полупроводниковой промышленности на территории США, удовлетворяющую потребности всех внутренних игроков в доступе к современным технологическим процессам на

национальной территории. Одна из целей – обеспечить устойчивое развитие полупроводниковой промышленности страны в будущем. Другая – преодолеть зависимость Америки от иностранных поставщиков материалов и услуг, критически важных для производства ИС, создать замкнутую и самодостаточную экосистему полупроводниковой промышленности США. Кстати, в CHIPS Act напрямую говорится о необходимости создания национальной полупроводниковой экосистемы [5].

Планы Intel по развитию его foundry-подразделения, IFC, подробно описаны в [15], поэтому рассмотрим планы Micron, Samsung и TSMC.

Корпорация Micron Technology приступила к строительству завода по обработке пластин в Бойсе. Здесь будут не только производиться корпоративные ДОЗУ, но и оказываться услуги контрактного производства ИС этого типа сторонним заказчикам. При этом им будут предоставляться услуги проектирования их продукции. Предполагается, что это будет самый крупный завод по выпуску ДОЗУ в США. Бюджет первого этапа проекта – 20,0 млрд долл. Благодаря пуску этого завода объем ДОЗУ, выпускаемых на территории США в общем объеме их корпоративного выпуска достигнет 40%. В 2025–2026 годах начнется реализация второго этапа проекта (еще 20,0 млрд долл.) – с целью расширения производства. То, что корпорация Micron выходит на рынок услуг кремниевого завода, может существенно изменить расстановку сил в мировой индустрии кремниевых заводов и на рынке услуг кремниевых заводов [6, 17].



**Таблица 4.** Проекты корпораций Intel, Micron, Samsung и TSMC по созданию кремниевых заводов в США

Корпорация	Дислокация завода	Описание проекта
Intel (IFS)	Чэндлер, шт. Аризона	Два новых кремниевых завода (обработка 300-мм пластин) общей стоимостью 20 млрд долл. Сооружаются с сентября 2021 года на территории кампуса Окотильо, в котором с 2020 года уже действует завод по обработке 300-мм пластин с использованием 10-нм процесса – Fab42
	Колумбус, шт. Огайо	Два новых кремниевых завода (обработка 300-мм пластин) общей стоимостью 20 млрд долл. На строительстве будут заняты 7 тыс. человек, численность персонала новых заводов – 3,0 тыс. человек. Начало строительства – в конце 2022 года. Пуск в строй – 2025 год. Создаются под передовые технологические процессы Intel, включая Intel 18 Å (ориентированы на ИС для высокопроизводительных мобильных устройств, средств ИИ и т. п.)
Micron	Бойсе, шт. Айдахо	Производство, оказывающее услуги кремниевого завода и выпускающее ИС материнской корпорации. Общий объем инвестиций – 40 млрд долл., основная выпускаемая продукция – ДОЗУ. Предполагаемая численность занятых, привлекаемых к реализации данного проекта, – 40 тыс. человек, из них 5 тыс. – высококвалифицированный персонал. Общая площадь чистых комнат – 55,74 тыс. м <sup>2</sup>
Samsung (Samsung Foundry)	Остин, шт. Техас	Рассматривается вопрос расширения существующего производственного комплекса и центра НИОКР, а также освоения в производстве на территории США ИС с проектными нормами 3 нм
TSMC	Финикс, шт. Аризона	В процессе строительства находится завод по обработке 300-мм пластин с использованием 5-нм процессов. Стоимость проекта – 12 млрд долл. Ожидаемый ввод в строй – 2024 год. Мощность производства обработки пластин – 20,0 тыс. ежемесячно. Численность непосредственно занятых – 1,6 тыс. человек
	Финикс, шт. Аризона	В ноябре 2022 года начата подготовка площадки под строительство завода по обработке 300-мм пластин и выпуска ИС с проектными нормами 3 нм. Предполагаемое время ввода в строй – 2025–2026 гг. Ожидается производство ИС для средств высокопроизводительных вычислений и мобильной электроники. При проектировании ИС будут использоваться архитектуры на основе чиплетов

Корпорация Samsung и ее отделение контрактного производства ИС, Samsung Foundry, рассматривают варианты расширения мощностей производственного комплекса в Олбани и освоения здесь производства ИС по проектным нормам 3 нм в 2024–2025 годах. Многое при выборе варианта решения будет зависеть от размера субсидий, которые можно будет получить от властей США и штата Техас, в том числе в соответствии с CHIPS Act. Пока же южнокорейский производитель предпочитает развивать производство и центры НИОКР на территории Южной Кореи. Так, 25 июля 2022 года были представлены первые 3-нм ИС с круговым затвором (GAA), изготовленные на мощностях кремниевого завода в Хвасоне. Также в августе 2022 года корпорация Samsung приступила к строительству на территории производственного комплекса в г. Гихен центра перспективных НИОКР, в котором будут разрабатываться и технологические процессы для кремниевых заводов корпорации.

Ввод в строй этого центра намечен на 2028 год. Наконец, в октябре 2022 года корпорация опубликовала маршрутную карту развития своих технологических процессов для мощностей по оказанию услуг кремниевых заводов. В соответствии с ней наибольшее внимание будет уделяться ИС для высокопроизводительных вычислений, средств/систем искусственного интеллекта, 5G/6G средств/сетей связи и автомобильной электроники. При этом в 2027 году планируется освоить выпуск ИС с минимальными проектными нормами 1,4 нм. Планируется, что перспективные технологии сначала будут осваиваться на мощностях кремниевых заводов, расположенных в Южной Корее, и только потом, через определенное время (отставание минимум на одно технологическое поколение), передаваться для освоения на завод в Остине (шт. Техас) [18].

TSMC продолжает строительство своего первого кремниевого завода на территории США. Ожидается, что он

войдет в строй в 2024 году и будет выпускать ИС с проектными нормами 5 нм. Для США это будет наиболее передовой технологический уровень. Принятие CHIPS Act не только побудило многие американские полупроводниковые фирмы к увеличению инвестиций в развитие национальной производственной и научно-технической базы, но и оказало положительное воздействие на руководство TSMC при принятии решения о строительстве второго завода по выпуску ИС с проектными нормами 3 нм. Другой фактор, способствовавший принятию этого решения, – обострение ситуации вокруг Тайваня. Благодаря сочетанию этих двух факторов TSMC, которую американцы с 2018 года «уламывали» построить в США хотя бы один кремниевый завод, теперь вместо двух вполне может построить в США шесть заводов. Решение о строительстве в США завода по производству ИС с проектными нормами 3 нм и менее может стать отходом Тайваня от политики, в соответствии с которой все строящиеся за рубежом полупроводниковые предприятия должны отставать от современных заводов, расположенных на острове, как минимум на одно технологическое поколение [19].

Нечто подобное начинает происходить и в ЕС, где приступают к реализации European Chips Act.

\* \* \*

То, что в настоящее время Тайвань является в подавляющей мере основой производственной базы кремниевых заводов, давно беспокоило ЕС и США. Особенно с учетом позиции КНР относительно неделимости Китая. ЕС и США считали и продолжают считать необходимым диверсификацию производственной базы индустрии кремниевых заводов. Начало американо-китайской «Холодной технологической войны» только обострило проблему. ЕС, в принципе, поддерживает США в желании покончить с «чрезмерной зависимостью» от КНР в области микро- и радиоэлектроники. Принятие и реализация CHIPS and Science Act и European Chips Act будут способствовать более равномерному распределению производственной базы индустрии кремниевых заводов. Но при этом Тайвань еще долгое время останется

главным центром этого сектора полупроводниковой промышленности. Разумеется, в мирных условиях...

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Макушин М.** Развитие бизнес-моделей электроники: зарубежный опыт и актуальность для России. Ч. 2 // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2017. № 5 (00165). С. 82–96.
2. **Davis S.** Memory Market Collapse to Lift TSMC to Top Spot in 3Q22 Ranking // Semiconductor Digest. September 9, 2022.
3. Intel Launches \$1 Billion Fund to Build a Foundry Innovation Ecosystem // Semiconductor Digest. February 8, 2022.
4. **Davis S.** US CHIPS ACT Now Approved by President Biden – What's Next? // Semiconductor Digest. August 10, 2022.
5. **Barbara Jorgensen.** Supply Chain Experts Weigh In on CHIPS Act // EE Times. 09.27.2022.
6. **Patterson A.** CHIPS Act Seen Facilitating Micron's \$100 Billion Plan // EE Times. 10.05.2022.
7. **Patterson A.** TSMC Expansion in Arizona to Target 3-nm Node // EE Times, 11.14.2022.
8. **Макушин М.** Контрактное производство ИС: ведущие мировые кремниевые заводы расширяют мощности Часть 1. // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2022. № 1 (00212). С. 58–67.
9. **Patterson A.** Commerce Adds Limits on Exports of Chip Tech to China // EE Times. 10.07.2022.
10. **Ojo B.** So Much More than a Tiger // EE Times. 5/14/2018.
11. **Макушин М.** Разделенные проливом, объединенные проблемами. Некоторые аспекты развития микроэлектроники КНР и Тайваня // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2018. № 6 (00177). С. 154–162.
12. **Manners D.** Why Is Taiwan So Good At Chip Manufacturing? Electronics Weekly. 4th November 2022.
13. **Davis S.** Global Chip Industry Projected to Invest More Than \$500 Billion in New Factories by 2024, SEMI Reports // Semiconductor Digest. December 15, 2022.
14. **Davis S.** Global Total Semiconductor Equipment Sales Forecast to Reach Record High in 2022, SEMI Reports // Semiconductor Digest. December 16, 2022.
15. **Авдонин Б., Макушин М.** Трансформация микроэлектроники США: формирование замкнутой национальной экосистемы микроэлектроники на примере корпорации Intel // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2022. № 5 (00216). С. 122–128.
16. Semiconductor Foundry Market 2023 Size (US\$ 112.9 Billion), Growth Rate (CAGR) of 6.2% by 2028 // Digital Journal. December 22, 2022.
17. **Patterson A.** Micron to Invest \$40 Billion in U.S. with Passage of CHIPS Act // EE Times. 08.09.2022.
18. **Patterson A.** Samsung Roadmap Includes 1.4-nm Production by 2027 // EE Times. 10.10.2022.
19. **Patterson A.** TSMC Expansion in Arizona to Target 3-nm Node // EE Times. 11.14.2022.

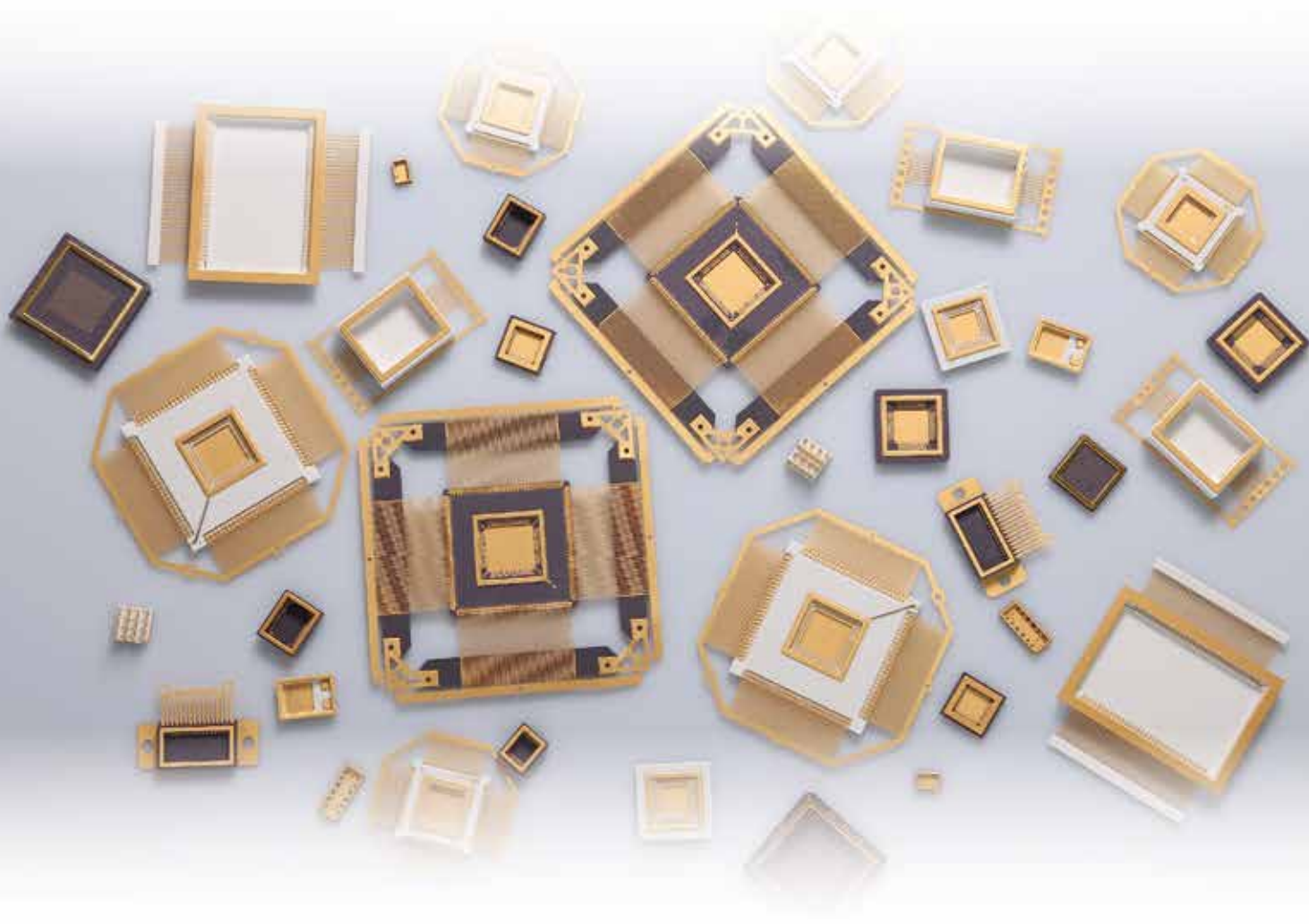
**ООО "Руднев-Шиляев"**

Разработка и производство:

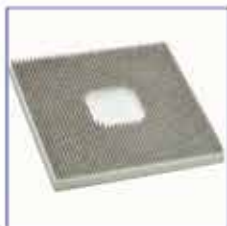
- платы сбора данных
- измерительные приборы
- виброакустические системы
- инструментальные решения задач заказчика

Москва (495) 787-63-67  
(495) 787-63-68

www.rudshel.ru  
adc@rudshel.ru



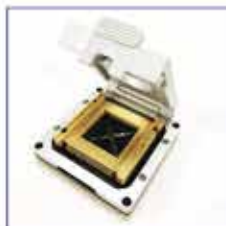
Выводные рамки



Металлокерамические  
корпуса



Нагревательные  
элементы



Контактные  
устройства



Графитовая  
оснастка



Оптоэлектронные  
корпуса

