

Трудности реализации CHIPS Act в США

Б. Авдонин, д. э. н., проф.¹, М. Макушин²

УДК 621.37 | ВАК 2.2.2

В современной экономике большую роль играет полупроводниковая промышленность, включая микроэлектронику. Для сохранения и укрепления позиций в этой области в США и ЕС приняты соответствующие законы. Но их реализация сталкивается с трудностями.

Как известно, в августе 2022 года в США был принят Конгрессом и подписан президентом Закон о создании полезных стимулов для производства полупроводниковых приборов в Америке (Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors for America Act, CHIPS Act). Этот закон в окончательном варианте получил название CHIPS and Science Act [1]. Сейчас в американских СМИ этот закон именуют просто CHIPS Act.

С одной стороны, этот закон предоставляет поставщикам полупроводников существенную поддержку в переносе на территорию США производственных мощностей. Цель – создание замкнутой национальной инфраструктуры полупроводниковой промышленности и возрождения за этот счет технологического лидерства Америки, особенно в рамках ее противостояния с КНР. С другой стороны, за год действия этого закона выявился ряд трудностей с его реализацией.

ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА THE CHIPS AND SCIENCE ACT

Итак, в соответствии с CHIPS Act на защиту и развитие отечественной полупроводниковой промышленности в США выделено 52,7 млрд долл. Из них 39 млрд долл. направляется на стимулирование строительства новых полупроводниковых предприятий, 11 млрд долл. – на реализацию различных научно-исследовательских и опытно-конструкторских (НИОКР) программ, 2 млрд долл. – на удовлетворение потребностей министерства обороны (МО) США в микроэлектронике и 2,2 млрд долл. на различные мероприятия по защите и развитию цепочек поставок полупроводников. В табл. 1 представлен более подробный обзор этих ассигнований.

В дополнение к указанным прямым инвестициям CHIPS Act планирует инвестиционный кредит. Он предусматривает 25%-ную налоговую скидку фирмам, осуществляющим инвестиции в базирующиеся на территории США предприятия. Основная цель этой налоговой

льготы – «стимулирование производства полупроводников или оборудования для их изготовления» [2]. Применение инвестиционного кредита, который был добавлен в CHIPS Act относительно поздно в ходе многолетних обсуждений, может иметь серьезные последствия. Затраты на него могут потенциально превзойти всю стоимость программ стимулирования производства и осуществления НИОКР, предусматриваемых CHIPS Act. Это будет зависеть от того, сколько фирм воспользуется этой льготой в период с 1 января 2023 года по 31 декабря 2026 года.

Хотя подавляющее большинство средств, выделяемых в рамках CHIPS Act, по понятным причинам направлены на реорганизацию мощностей по производству полупроводников, существенными являются и 15,2 млрд долл., выделенные на другие инициативы, связанные с микроэлектроникой. Важно отметить, что CHIPS Act предоставляет соответствующим органам исполнительной власти значительную свободу действий для реализации его многочисленных положений, а также значительную свободу в толковании нормативных актов. Правительственные ведомства должны использовать эту гибкость таким образом, чтобы максимально повысить общую устойчивость цепочки поставок полупроводников. Кроме того, власти могут использовать эту гибкость, чтобы сосредоточить средства CHIPS Act на тех частях цепочки поставок полупроводников, которые не были прямо указаны в самом законодательстве. Это позволит сосредоточить усилия на повышении устойчивости начальных и конечных этапов (формирование транзисторной структуры и сборки/корпусирования/тестирования) цепочек поставок полупроводников.

ТРУДНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

Недавно Центр по вопросам безопасности и перспективных технологий (Center for Security and Emerging Technology, CSET) при Школе дипломатической службы Джорджтаунского университета (Georgetown University), являющийся одним из авторитетных аналитических центров, занимающимся анализом политики на стыке национальной и международной безопасности, а также новейших технологий, выпустил исследование, касающееся трудностей реализации CHIPS Act.

¹ ГосНИИАС, советник генерального директора.

² НОБ «Военные науки и оборонная промышленность» БРЭ, научный редактор.

Таблица 1. Структура финансирования работ в соответствии с CHIPS Act на период 2022–2027 годов.Источник: CHIPS Act of 2022 (H.R.4346, 117th Congress).

| Статьи затрат | Финансирование, млрд долл. (фин. г.) | | | | | | |
|---|--------------------------------------|-------|-------|------|------|------|-------|
| | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | Итого |
| Программа финансовой помощи (стимулирование) | 19,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 0 | 39,0 |
| Национальный центр полупроводниковых технологий | 2,0 | | | | | | |
| Национальная программа внедрения в производство перспективных методов корпусирования | 2,5 | | | | | | |
| НИОКР в области полупроводниковых технологий Национального института стандартов и технологий | | 2,0 | 1,3 | 1,1 | 1,6 | 0 | 11,0 |
| Производственные институты США в области полупроводниковых технологий | 0,5 | | | | | | |
| Сеть полупроводниковых НИОКР МО США | 0 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 2,0 |
| Фонд технологической безопасности и инноваций Госдепартамента США | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,5 |
| Образовательный фонд CHIPS Национального научного фонда | 0 | 0,025 | 0,025 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,2 |
| Инновационный фонд в области цепочки поставок беспроводных средств Национального управления по телекоммуникациям и информации | | | | 1,5 | | | 1,5 |

В последнем исследовании CSET отмечается, что субсидии в размере 39 млрд долл. на восстановление производства передовой логики и памяти мало что сделают для существенного повышения устойчивости цепочек поставок полупроводников в США, если не будут предприняты сопутствующие усилия по восстановлению более широкой экосистемы. Например, если в соответствии с CHIPS Act финансируется разработка и производство перспективных полупроводников на предприятии в Аризоне, то эти самые приборы все равно должны быть изготовлены с использованием материалов, полученных из стран-конкурентов, а после изготовления отправлены в Азию на фирмы, специализирующиеся в области сборки, тестирования и корпусирования (assembly, testing and packaging, ATP) полупроводников, включая ИС, прежде чем их можно будет использовать. То есть с этой точки зрения CHIPS Act не способствует в полной мере обеспечению устойчивости США в области микроэлектроники. Он также не содействует существенному расширению цепочек поставок полупроводников.

Исследование CSET посвящено двум крайним аспектам процесса производства полупроводников: материалам, используемым при изготовлении полупроводников, и необходимости создания экономически жизнеспособной и инновационной экосистемы ATP.

Экосистема полупроводниковых материалов

Термин «полупроводниковые материалы» относится как к материалам, обладающим полупроводниковыми свойствами (которые необязательно используются в производстве полупроводниковых приборов), так и к материалам, используемым в производстве этих приборов. Причем во втором случае не все материалы обладают полупроводниковыми свойствами (например, вольфрам). В США не хватает мощностей по производству полупроводниковых материалов, хотя и имеются небольшие внутренние мощности по их производству (например, изготовление необработанных кремниевых пластин, а также материалов, используемых для формирования на этих пластинах кристаллов ИС) [3]. Однако остается много узких мест. По данным Международной организации поставщиков полупроводникового оборудования и материалов (SEMI), по таким позициям, как ряд фоторезистов, газов электронного класса, мишеней для осаждения и материалов-предшественников (прекурсоров), а также диэлектриков, осаждаемых методом центрифугирования (spin-on dielectrics, SOD), в США был либо один, либо вообще не было поставщика. С другой стороны, лидирующие позиции в производстве исходных полупроводниковых материалов сохраняют китайские фирмы. Соответственно, многие американские фирмы, производящие обработанные, подготовленные к использованию

в производстве полупроводников и ИС материалы, сильно зависят от КНР в плане поставок сырья (рис. 1) [4]. Нарастание полупроводниковых производственных мощностей в США не приведет к увеличению устойчивости американских цепочек поставок полупроводников в целом, если зависимость от импорта исходных полупроводниковых материалов не будет смягчена или преодолена.

Для изготовления полупроводников используется или использовались ранее 66 из 118 элементов периодической таблицы Менделеева. Перечень важнейших полезных ископаемых Геологической службы США включает в себя 35 минералов, из которых 30 имеют отношение к производству полупроводников [5]. Для достижения соответствия жестким требованиям полупроводниковой промышленности к чистоте и эксплуатационным характеристикам, многие материалы проходят дополнительную

обработку (синтез, очистка и т. д.). В США мощности по синтезу и очистке, как правило, отсутствуют. Например, хотя в США существуют поставщики серной кислоты и изопропилового спирта (IPA), в США нет поставщиков серной кислоты сверхвысокой чистоты и IPA, подходящих для производства перспективных полупроводников [6].

К наиболее известным химическим веществам и газам, используемым в производстве полупроводников, относятся атмосферные газы, специальные газы, фторполимеры, фоторезисты и вспомогательные материалы для фоторезистов, суспензии для химико-механической планаризации и материалы для осаждения [7]. На заводе по производству полупроводников и ИС может использоваться более четырехсот химических продуктов [8]. Почти во всех случаях в мире насчитывается менее пяти поставщиков этих специальных химических продуктов. Многие продукты производятся крупными транснациональными корпорациями, такими как Linde (Ирландия), Air Liquide (Франция), BASF и Merck (Германия), JSR и Shin-Etsu (Япония), Entegris и Dupont (США). Но они производят эти химикаты и газы на предприятиях за пределами США [6].

Несмотря на то, что штаб-квартиры этих фирм находятся в США или странах-союзниках, они сохраняют значительную производственную базу в Азии в целом и КНР в частности. Например, собственность, заводы и оборудование корпорации Linde в КНР уступают по стоимости только активам в США. В то же время Air Liquide инвестировала в 2021 году 170 млн долл. в расширение производства в КНР сверхчистых газов для производителей полупроводников [9]. Причина – растущий спрос со стороны полупроводниковых фирм, работающих в КНР, а также расширение возможностей сотрудничества с другими отраслями промышленности КНР. Часто исходные химические вещества и газы косвенно производятся и улавливаются в качестве побочных продуктов других отраслей китайской промышленности. Примечательно, что производство редких газов, таких как криптон и ксенон, зависит от воздухоразделительных установок, расположенных рядом со сталелитейным производством. По данным SEMI, полупроводниковая промышленность получает 80% криптона и ксенона из КНР и Украины. Те же, в свою очередь, получают большую часть этих газов из России [6]. Требования полупроводниковой промышленности к чистоте диктуют необходимость дополнительной обработки даже коммерчески готовых версий этих газов, что еще больше ограничивает поставки и количество поставщиков.

В дополнение к тому, что поставки этих материалов, газов и химикатов и без того сложны и ограничены, CHIPS Act также может вызвать шок спроса. По данным SEMI, чтобы удовлетворить ожидаемый спрос, связанный со строительством новых полупроводниковых заводов в США, необходимо в течение следующих четырех лет увеличить поставки всех жидких химикатов

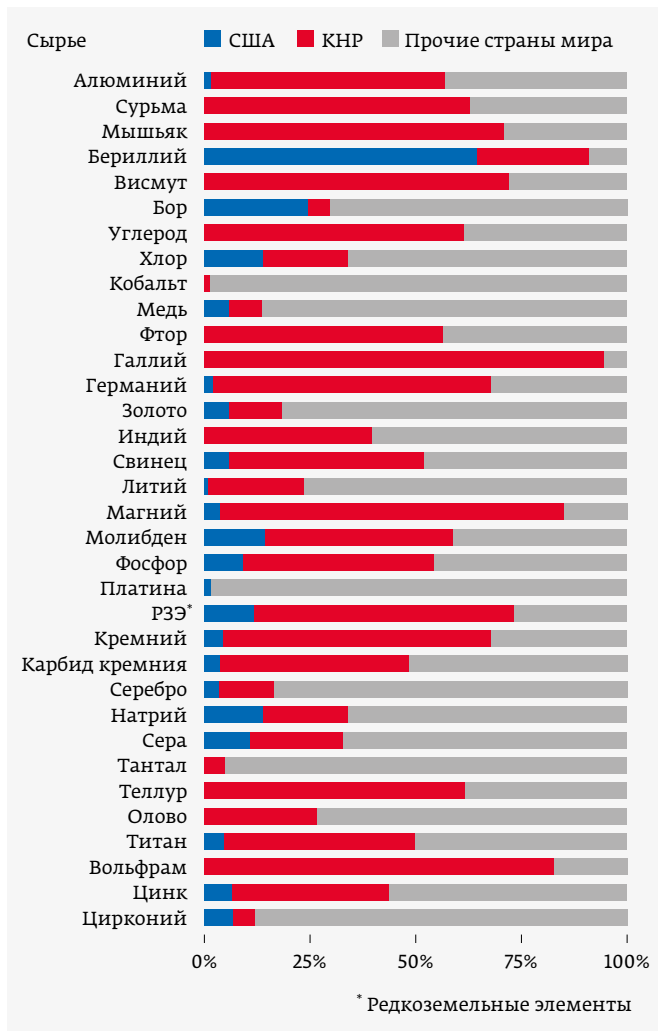


Рис. 1. Географическая структура производства исходных полупроводниковых материалов (в натуральном выражении)

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КОНДЕНСАТОРОВ

оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы

К50-15, К50-17, К50-27, К50-29, К50-37,
К50-68, К50-77, К50-80, К50-81, К50-83,
К50-84, К50-85, К50-86, К50-87, К50-88,
К50-89, К50-90, К50-91, К50-92, К50-93,
К50-94, К50-95(чип), К50-96, К50-97(чип),
К50-98, К50-99, К50-100, К50-101(чип),
К50-102, К50-103, К50-104, К50-105, К50-106



объемно-пористые танталовые конденсаторы

К52-1, К52-1М, К52-1БМ, К52-1Б, К52-9,
К52-11, К52-17, К52-18, К52-19, К52-20,
К52-21, К52-24, К52-26(чип), К52-27(чип),
К52-28, К52-29, К52-30



оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы

К53-1А, К53-7, К53-65(чип), К53-66,
К53-68(чип), К53-69(чип), К53-71(чип),
К53-72(чип), К53-74(чип), К53-77(чип),
К53-78(чип), К53-82



суперконденсаторы (ионисторы)

К58-26, К58-27, К58-28,
К58-29, К58-30, К58-31



накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов

НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ



Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям ISO 9001



полупроводникового класса на 37–49% [10]. Учитывая, что большая часть мировых поставок этих материалов, химикатов и газов уже находится за пределами США, необходимо, чтобы ответственные за реализацию CHIPS Act американские власти использовали возможности этого закона для удовлетворения ожидаемого спроса путем наращивания внутренних производственных мощностей в полупроводниковой и смежных отраслях промышленности.

В принципе, уже есть некоторые первые признаки того, что CHIPS Act косвенно увеличивает доступность полупроводниковых материалов в США. Несколько тайваньских поставщиков материалов, сотрудничающих с крупнейшим в мире кремниевым заводом^{*} Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. (TSMC), объявили о своем намерении создать производственные мощности рядом с ее новым заводом в штате Аризона. Производство ИС на этом заводе планируется начать в 2024 году [11]. Sunlit Chemical, тайваньский поставщик химикатов для электроники, объявил в начале 2022 года о строительстве завода стоимостью 100 млн долл. для производства плавиковой кислоты и других высокочистых химикатов, используемых при производстве полупроводников [12]. Одновременно с тем, что присутствие TSMC в Аризоне стимулирует некоторых поставщиков материалов к совместному размещению и увеличению производства на территории США, TSMC недавно подала заявку на создание зоны внешней торговли рядом со своим заводом в Финиксе (шт. Аризона). В этой заявке перечислено около ста материалов и химикатов с «иностранным статусом», не производимых в США [13]. Хотя поставщикам материалов уже предоставлены некоторые рыночные стимулы для размещения своих мощностей рядом с мощностями их производственных клиентов, перед директивными органами США возникла новая задача. Она заключается в необходимости обеспечить, чтобы проекты создания заводов по обработке пластин, на которые выделяются средства в соответствии с CHIPS Act, включали четкие обязательства их поставщиков по увеличению производства на территории США там, где это требуется. Например, можно побудить

SEMCO, дочернюю компанию корпорации Samsung и ключевого поставщика подложек, используемых в современных методах корпусирования, наладить производство в штате Техас рядом с существующим кремниевым заводом Samsung [14]. Внутреннее производство подложек в США недостаточно для удовлетворения текущего и прогнозируемого спроса, на этом субрынке доминируют азиатские фирмы. Это требует, чтобы директивные органы разрабатывали стимулы для привлечения ведущих фирм обратно в США.

Экосистема сборки, тестирования и корпусирования ИС

В настоящее время американские фирмы нельзя назвать лидерами рынка предоставления АТР-услуг или материалов, используемых в АТР-процессах. Производственные АТР-мощности в США составляют примерно 3% общемировых мощностей, и ни одна из американских фирм не лидирует в поставках материалов корпусирования. Мощности по производству выводных рамок, проволоочных выводов, керамики, подложек, смол и материалов для крепления кристаллов ИС на территории США практически отсутствуют, за исключением конкретных случаев, ориентированных на использование в оборонной промышленности. Отсутствие АТР-экосистемы в США связано с многолетней тенденцией производителей полупроводников размещать свои предприятия в Азии из-за низких издержек производства и близости к фирмам по сборке электроники.

Результатом этой тенденции является то, что примерно 81% мировых АТР-мощностей сосредоточен в Азии, а тайваньские, китайские и японские фирмы сохраняют доминирующую долю на рынке почти всех АТР-материалов, особенно подложек и печатных плат.

Специалисты CSET также утверждают, что усилия США по формированию замкнутой национальной экосистемы в рамках CHIPS Act должны быть одновременно направлены на перспективные методы корпусирования [15]. Акцент при этом должен быть сделан на расширении производственных мощностей по изготовлению подложек и печатных плат.

Подложки и печатные платы для индустрии сборки, тестирования и корпусирования ИС

Мероприятия по обновлению и восстановлению национальной производственной базы полупроводниковой промышленности в оптимальном варианте должны сочетаться с одновременным восстановлением, возвращением из-за рубежа экосистемы АТР-материалов. Помимо отсутствия АТР-мощностей в США в целом, на данный момент на территории страны нет конкурентоспособных, с коммерческой и технологической точек зрения, поставщиков печатных плат и подложек, необходимых

* Foundry – кремниевый завод, производство ИС по спецификациям заказчика с предоставлением заказчику широкого спектра услуг использования инструментальных средств фирм-союзников из числа поставщиков САПР для проектирования собственных ИС с использованием базы библиотек стандартных элементов различных fabless- и IDM-фирм (по контрактам foundry с последними), платформ и сложнофункциональных блоков (на тех же условиях). Кремниевые заводы могут заниматься разработкой новейших технологических процессов, но разработкой собственных конструкций ИС, как правило, не занимаются.



САМОЕ ПОСЕЩАЕМОЕ ОТРАСЛЕВОЕ
МЕРОПРИЯТИЕ СЕВЕРО-ЗАПАДА
РОССИИ!*

XXIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
РАДИОЭЛЕКТРОНИКА
& ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

27-29
СЕНТЯБРЯ
2023

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
КВЦ ЭКСПОФОРУМ



*Выставку 2022 года посетили более 7 964 специалиста



www.radelexpo.ru
(812) 718-35-37

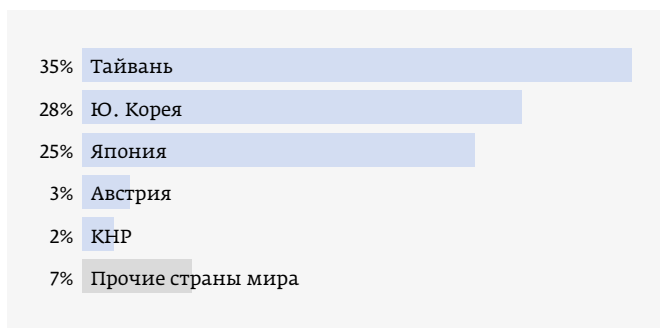


Рис. 2. Географическая структура поставщиков подложек ИС (по объему продаж)

для интеграции готового полупроводника или ИС в электронный прибор или систему. Это означает, что подавляющее большинство полупроводников, произведенных в США, по-прежнему приходится отправлять за границу, в Азию, где они проходят все АТР-операции.

По некоторым оценкам США отстают от Азии в технологиях производства печатных плат, необходимых для применения в электронике следующего поколения, примерно на 20 лет, а по возможностям производства подложек (подобных печатным платам по параметрам), необходимых для корпусирования изделий перспективной микроэлектроники – приблизительно на 30 лет [16]. Если дефицит соответствующих производственных мощностей не будет устранен, разрыв между возможностями США и возможностями лидирующих в АТР-индустрии стран будет увеличиваться, несмотря на усилия по восстановлению производственной базы микроэлектроники в рамках CHIPS Act.

На данный момент ни один американский поставщик подложек не входит в перечень 20 ведущих поставщиков по объемам продаж, а 95% ведущих поставщиков расположены в Азии (рис. 2). Важно отметить, что пленка для наращивания Ajinomoto® (ABF, производимая в основном фирмами в Японии и Тайване), изготавливается почти исключительно в Азии и в течение многих лет считается дефицитной. Эта подложка активно используется для корпусирования полупроводников и ИС, предназначенных для 5G средств/сетей связи, систем высокопроизводительных вычислений и средств искусственного интеллекта. По одной из оценок, полупроводниковой промышленности

к 2025 году потребуется 17,2 млн м² производственных площадей для изготовления перспективных подложек, однако к тому времени будет построено только 13,545 млн м² таких мощностей. Разрыв в 3,7 млн м² достаточно ощутим. Одна из японских фирм уже планирует потратить 1,6 млрд долл. на строительство завода по производству перспективных подложек площадью около 2 млн м² в течение 18 месяцев. Общий мировой объем инвестиций в расширение мощностей по производству перспективных подложек, для удовлетворения прогнозируемого спроса к 2025 году, оценивается в 32 млрд долл. [17].

Американское производство печатных плат также отличается нехваткой мощностей и низкой технической конкурентоспособностью. На начало 2023 года в стране насчитывалось менее 150 поставщиков печатных плат по сравнению с более чем двумя тысячами в конце 1990-х годов. Около 80% мировых производственных мощностей приходится на КНР, в то время как на США – 4% [16]. Как и в случае с АТР-мощностями, производство печатных плат переместилось за рубеж из-за конкурентоспособности фирм в Азии по затратам и близости к производителям электроники. В частности, в США имеются «незначительные мощности» по производству печатных плат с высокой плотностью межсоединений, необходимых для методик перспективного корпусирования. В частности, мощности американского аддитивного производства по изготовлению подложек с высокой плотностью межсоединений (от 6 до 50 мкм), которые были бы конкурентоспособны с изделиями азиатских фирм, недостаточны для удовлетворения внутреннего спроса в США [18]. Текущие мощности США настолько малы, что в Закон о полномочиях в сфере национальной обороны на 2022 фин. год были внесены изменения в требования к поставщикам печатных плат. Эти изменения предусматривали, что начиная с января 2023 года американские «критически важные системы» будут использовать печатные платы только из стран, не являющихся конкурентами. Однако из-за дефицита печатных плат, производимых фирмами США и стран-союзниц, сроки реализации этих требований были перенесены на 2027 год [19].

Мощности по оказанию услуг сборки, тестирования и корпусирования

Мощности США по оказанию АТР-услуг ограничены с точки зрения числа предприятий, производственных линий и технологической конкурентоспособности. В США расположено только 3% соответствующих мировых мощностей. Большинство американских мощностей по оказанию АТР-услуг представлены внутрикорпоративными структурами корпорации Intel, а также специализированными структурами, обслуживающими оборонную промышленность. В США явно ощущается дефицит массово-поточных аутсорсинговых услуг

* Очень тонкая диэлектрическая пленка, созданная специалистами японской компании Ajinomoto. Конструкция из многочисленных слоев этой пленки со сформированными на них проводящими дорожками является обязательной частью сложных микросхем, позволяя соединить контактные площадки на кристалле с выводами на плате из текстолита.

по сборке и тестированию полупроводниковых приборов (Outsourced Semiconductor Assembly and Test, OSAT) (рис. 3). В результате этого подавляющее большинство кристаллов ИС, производимых в США такими корпорациями, как GlobalFoundries (шт. Нью-Йорк) и Texas Instruments (шт. Техас), отправляются на OSAT – специализирующиеся предприятия, базирующиеся в странах Юго-Восточной Азии и КНР, или на зарубежные филиалы американских фирм в том же регионе. Интегрированные производители полупроводников^{*} со штаб-квартирами в США, располагающие 59 подразделениями по оказанию АТР-услуг, 48 из них работают за пределами США. Большинство из их зарубежных АТР-филиалов расположено на Филиппинах (11), в Малайзии (10) и КНР (9) [3]. Например, хотя корпорация Intel имеет АТР производственные мощности на территории США, ее вьетнамский завод по сборке и тестированию полупроводников (включая ИС) является крупнейшим в корпоративной структуре. На заводе занято 2800 человек, общий объем инвестиций на его сооружение и оснащение составил 1,5 млрд долл. Intel также недавно объявила о планах строительства завода по оказанию АТР-услуг в Малайзии, его стоимость составит 7 млрд долл. [20].

Промежуточные выводы

Итак, к проблемам, которые необходимо решать одновременно с усилиями по формированию национальной инфраструктуры микроэлектроники США в рамках реализации CHIPS Act, можно отнести:

- географически глобальные мощности по оказанию АТР-услуг и связанная с ними экосистема материалов сконцентрированы в Азии;
- США характеризуются существенным недостатком мощностей по оказанию АТР-услуг и связанной с ними экосистемы;
- конкурентоспособными являются азиатские фирмы, обладающие преимуществами первопроходцев и значительными преимуществами с точки зрения технологий и контролируемой доли рынка.

ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОБЛЕМ

Специалисты CSET в рассматриваемом исследовании сформулировали ряд рекомендаций американским властям, занимающимся реализацией CHIPS Act. Им предложено употребить значительную свободу действий, предоставляемую этим законом. В частности, для частичного



Рис. 3. Географическая структура и число предприятий сборки, корпусирования и тестирования ИС (по месту расположения штаб-квартир)

сосредоточения усилий на восстановлении и создании заново широкой экосистемы АТР-услуг, в значительной степени сосредотачиваться на перспективных методах 2,5D- и 3D-корпусирования. Они позволяют создавать вертикально этажированные структуры с несколькими сотнями, а иногда и больше, слоев гетерогенных (по проектным нормам и функциональности), что позволяет значительно повысить удельную (на единицу площади) функциональность. В этот сектор завершающих этапов изготовления полупроводников, в основном ИС, сейчас начинает перемещаться основная масса добавленной в процессе обработки стоимости – из сектора начальных этапов обработки пластин (формирование транзисторной структуры). Также предлагается разработать стимулы для поощрения существующих поставщиков АТР-услуг к расширению мощностей в США или странах-союзниках и финансированию инноваций, особенно в области материаловедения для создания коммерчески конкурентоспособной экосистемы АТР-услуг. Основными можно считать следующие две рекомендации:

- финансирование инноваций в восходящих цепочках поставок материалов. В качестве примеров рассматривается необходимость финансирования инноваций в области гидрофторуглеродов (ГФУ), резистов и технологий переработки технологических газов сверхвысокой чистоты – все это заслуживает финансирования из средств CHIPS Act;
- поощрение формирования современных мощностей по оказанию АТР-услуг и связанной с ними экосистемы. Утверждается, что направление средств CHIPS Act на создание в США мощностей по производству перспективных подложек и печатных плат, ориентированных на приложения искусственного

^{*} IDM (Integrated Device Manufacturers) – интегрированные изготовители приборов; традиционные полупроводниковые фирмы полного цикла – разработка, проектирование, производство и маркетинг ИС.

интеллекта и высокопроизводительных вычислений, повысило бы устойчивость цепочек поставок.

По первому пункту можно сказать, что ГФУ и другие фторсодержащие парниковые газы используются в полупроводниковой промышленности с 1980-х годов [21]. Они используются в процессах травления/очистки пластин и химического осаждения из паровой фазы, высоко ценятся за их исключительную чистоту. Но чем больше слоев в этажированной структуре, тем более интенсивно будут потребляться ГФУ. Соответственно выявление более экологичных материалов является важной задачей. Примерно по тем же или отличным от этих причинам требуется интенсификация инновационного процесса в области резистов (особенно для EUV-литографии*) и технологий переработки технологических газов сверхвысокой чистоты.

Рекомендации по второму пункту включают в себя предложения о направлении, по крайней мере, некоторых средств, выделяемых по CHIPS Act, на повышение общей устойчивости экосистемы АТР-слуг в США. Этого предполагается достичь несколькими путями:

- Преимущественное получение средств в рамках CHIPS Act по заявкам, в которых предлагаемый проект создания завода по обработке пластин будет включать в себя создание совместно расположенного предприятия, специализирующегося на перспективных методах корпусирования.
- Преимущественное получение средств в рамках CHIPS Act по заявкам, предусматривающим включение в проект создания завода по обработке пластин инвестиций на создание мощностей по переработке благородных/экзотических газов, соответствующих лучшим отраслевым практикам.
- Преимущественное получение средств в рамках CHIPS Act по заявкам, гарантирующим в проекте создания завода по обработке пластин передачу АТР-операций на аутсорсинг предприятиям, базирующимся в США или в странах, не являющихся конкурентами.
- Использование средств CHIPS Act через Фонд технологий и инноваций Государственного департамента для стимулирования совместного производства подложек и печатных плат, предпочтительно за пределами Азии.
- Использование средств CHIPS Act через сеть полупроводниковых НИОКР МО США для расширения инноваций в области печатных плат внутри страны и в странах-союзниках.

- Использование средств CHIPS Act для стимулирования строительства как минимум одного крупносерийного завода по производству подложек в США, способного поставлять ABF-подложки для конечных применений в области искусственного интеллекта и высокопроизводительных вычислений.
- Определение существующих фирм, занимающихся производством подложек, и поощрение создания совместного предприятия или предприятия, расположенного совместно с действующим или планируемым заводом по обработке пластин внутри страны.
- Создание отраслевого консорциума под эгидой Национальной программы по освоению в производстве полупроводников перспективных методов корпусирования (National Advanced Packaging Manufacturing Program, NAPMP) для внедрения инноваций в подложки, не содержащие ABF [3].

* * *

Аналитические материалы и исследования многих американских фирм, включая CSET и SEMI, показывают и трудности, с которыми сталкивается реализация CHIPS Act, и возможности его воплощения в жизнь. Большинство аналитиков сходятся в том, что программы, предусмотренные CHIPS Act, будут в основном завершены. Тем более что в его реализации будут участвовать фирмы и государственные структуры стран-союзниц, прежде всего входящих в ЕС и НАТО. В ЕС на основании аналогичного закона, European Chip Act, реализуются схожие программы развития микроэлектроники и полупроводниковой промышленности.

Но есть еще одно препятствие – американо-китайские противоречия, взаимные санкции. Некоторые из них могут иметь серьезные последствия. Так, например, с 1 августа с.г. КНР вводит экспортный контроль на галлий и германий, в ответ на предшествующие санкции США. Эти металлы необходимы для производства ИС и полупроводников, в том числе для оборонных целей. КНР один из крупнейших поставщиков галлия и германия, по данным британского аналитического центра Critical Minerals, на долю КНР приходится около 94% мирового производства галлия [22]. Соответственно цены на эти металлы вырастут. Но КНР занимает близкие к монопольному положению позиции еще по многим полупроводниковым исходным и обработанным полупроводниковым материалам...

ЛИТЕРАТУРА

1. **Авдонин Б., Макушин М.** CHIPS Act и совершенствование экосистемы НИОКР в США // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука. Технология. Бизнес. № 10 (00221) 2022. С. 134–142.
2. 117th Congress, Chips Act of 2022, (Sections 102–106, 107)

* EUV (extreme ultraviolet) – наиболее коротковолновая часть ультрафиолетовой области спектра (предельной УФ-области спектра). Длина волны излучения EUV-степперов – 13,5 нм.

3. **Verwey John.** Betting the House: Leveraging the CHIPS and Science Act to Increase U. S. Microelectronics Supply Chain Resilience // Semiconductor Digest. 2023. April/May, pp. 10–19.
4. Public Comment 83. Amazon Inc. // Bureau of Industry and Security, "04/05/21.
5. **Adam Kitay.** Public Comment 31. The MITRE Corporation // Bureau of Industry and Security, 04/05/21.
6. **Ekmarm Kim.** Public Comment 52. SEMI // Bureau of Industry and Security, 04/05/21.
7. **Brzytwa Edward.** Public Comment 66. American Chemistry Council // Bureau of Industry and Security, 04/05/21.
8. **Kim Sunju, Yoon Chungsik, Ham Seunghon, Park Jihoon, et al.** Chemical Use in the Semiconductor Manufacturing Industry // International Journal of Occupational and Environmental Health 24, no. 3–4, 2018, October 2.
9. Sustainable Growth: Annual Report 2021 // Linde, 2022, p. 94.
10. **Shon-Roy Lita.** We Haven't Yet Solved Our Semiconductor Dilemma // criticalmaterials.org, October 1, 2022.
11. **Shilov Anton.** TSMC Completes Construction of 5nm Fab 21 in Arizona // Tom's Hardware, July 29, 2022.
12. **Marinescu Adriana.** \$100M Phoenix Plant Breaks Ground // Commercial Property Executive, January 21, 2022.
13. Foreign-Trade Zone (FTZ) 75-Phoenix, Arizona; Notification of Proposed Production Activity; TSMC Arizona Corporation (Semiconductor Wafers); Phoenix, Arizona // Federal Register, December 28, 2022.
14. **Chiang Daniel.** Semco Boosts Investment in ABF Substrate Production // DIGITIMES, March 22, 2022.
15. **Verwey John.** Re-Shoring Advanced Semiconductor Packaging // Center for Security and Emerging Technology, June 2022.
16. **Mitchell Chris.** Public Comment 91. IPC and USPAE // Bureau of Industry and Security, 04/05/21.
17. **Fitch Asa.** The Chip Shortage Has Made a Star of This Little-Known Component // Wall Street Journal, September 4, 2021.
18. **Brassard Todd.** Public Comment 89. Calumet Electronics Corporation // Bureau of Industry and Security, 04/05/21
19. IPC Praises U. S. Government Actions to Bolster Security and Resiliency of Defense Electronics Supply Chain // IPC, January 4, 2021
20. Intel Taps Factory Network to Overcome Substrate Shortages // Intel, May 26, 2022.
21. Market Characterization of the U. S. Semiconductor Industry // Environmental Protection Agency, August 2021.
22. China restricts exports of key metals // Semiconductor Engineering, July 7, 2023.



**ЭЛЕКТРОНИКА
ТРАНСПОРТ 2023**

16-я специализированная выставка электроники и информационных технологий для пассажирского транспорта и транспортной инфраструктуры

Проводится в рамках Российской недели общественного транспорта и городской мобильности

www.publictransportweek.ru

27-29 СЕНТЯБРЯ / МОСКВА / ЦВК ЭКСПОЦЕНТР



WWW.E-TRANSPORT.RU



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

**100% ГАРАНТИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ**



Стоимость 2200 р. за номер
Периодичность: 10 номеров в год
www.electronics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.photonics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 6 номеров в год
www.j-analytics.ru

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

www.technosphere.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.lastmile.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.nanoindustry.ru



Стоимость 1800 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год
www.stankoinstrument.ru