

Чиплеты и гетерогенная интеграция как базовый технологический стек, способный обеспечить суверенитет отечественной электроники в новом технологическом укладе

А. Ачкасов, д. т. н.¹

УДК 004.31:621.3.049.76 | ВАК 2.2.2

В условиях наложения санкций, ограничивающих экспорт в Россию высокотехнологичной продукции из недружественных государств, были прекращены поставки в нашу страну необходимых микросхем. Практически все иностранные foundry-фабрики отказались изготавливать кристаллы интегральных схем российских дизайн-центров. В статье рассматриваются технологии гетерогенной интеграции и концепция использования чиплетов с точки зрения их потенциала в обеспечении технологического суверенитета страны. В настоящее время эти технологии являются горячей темой в полупроводниковой промышленности и представляют собой изменение парадигмы как для разработчиков, так и для потребителей микросхем.

НОВЫЕ РЕАЛИИ, ТЕНДЕНЦИИ РЕГИОНАЛИЗАЦИИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ОТРАСЛИ

СВО, геополитика и соблюдение требований ESG ускоряют тенденцию регионализации глобальной цепочки поставок в микроэлектронике.

Российско-украинский кризис поставил острый фокус на цепочку поставок полупроводников. В настоящее время государства по всему миру спешно наращивают новые производственные мощности в микроэлектронике как на собственной территории, так и территории союзников. Они не хотят быть лишены доступа к чему-либо критически важному.

Другая причина, по которой компании становятся региональными, заключается в том, что чем короче цепочка поставок, тем меньше углеродный след.

Активные шаги по переносу производств на территорию страны делают США, где в ближайшие пару лет появятся сразу восемь фабрик (Intel, TSMC, Samsung и Texas Instruments) и будет завершено значительное расширение завода Global Foundries [1].

Китай занимается строительством полноценной полупроводниковой индустрии и импортозамещением на своей территории уже 20 лет. В последние несколько лет рассчитывать им приходится преимущественно на внутренние инвестиции. К 2011 году производство микросхем в Китае обеспечило 12,7% местного рынка, в 2021 году уже 16,7%, а в 2026-м планируется достичь 21,2% (рис. 1). Однако есть нюанс: из микросхем, произведенных в Китае в 2021 году, по-настоящему локальные компании (со штаб-квартирой в Китае) изготовили чипы лишь на 12,3 млрд долл., что составило всего 6,6% рынка микросхем страны.

Первые шаги сделаны и в Индии, где анонсировано строительство трех фабрик с технологическими нормами 65 и 28 нм, причем во флагманском проекте местная горнодобывающая Vedanta (а-ля российский ГКМ «Норникель») объединила усилия с крупнейшим в мире тайваньским производителем электроники Foxconn.

Из 14 стран, представленных в табл. 1, в которых анонсированы инвестиции в строительство и модернизацию фабрик, четыре (выделены автором зеленым цветом) не входят в перечень недружественных РФ стран.

Регионализация и локализация в микроэлектронике становятся среднесрочной и долгосрочной тенденцией

¹ ВГЛУ (ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова»), профессор, achkasov@list.ru.

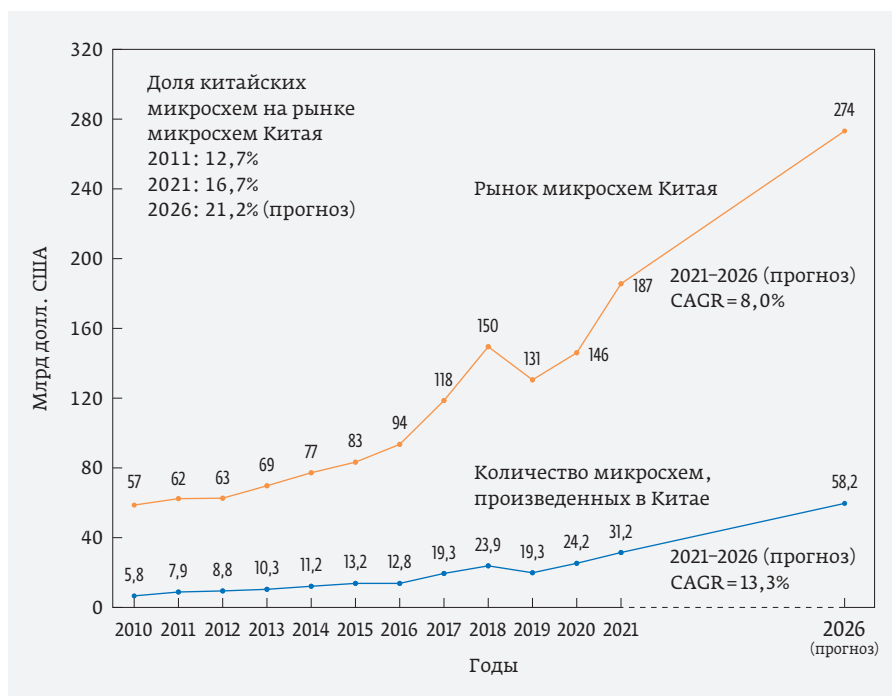


Рис. 1. Китайский рынок микросхем и выпуск микросхем в Китае.

Источник: IC Insights [2]

и сохранятся как минимум 10 лет, а возможно, и на десятилетия.

ОБ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИИ

Понятно, что усиление регионализации будет способствовать в моменте ускорению темпов импортозамещения. Однако даже самые развитые страны мира не способны обеспечить импортозамещение всей ввозимой в них зарубежной микроэлектроники.

Пример «рывка» Поднебесной, конечно, привлекателен. Китай воспользовался трендом глобализации и стал «мировой фабрикой», сумев сделать серьезный задел в микроэлектронике. Но теперь тренд развернулся. И российской микроэлектронике рассчитывать нужно прежде всего на относительно небольшой внутренний рынок и ограниченные внутренние инвестиции.

Стоимость современной полупроводниковой фабрики в текущих ценах превышает 10 млрд долл. (например, в 2024 году TSMC совместно с Sony запустят foundry-фабрику с технологиями 22/28 нм [3]), что составляет около 25% расходов бюджета РФ на 2023 год на всю национальную экономику страны. И этого мало, нужно еще обеспечить загрузку этих мощностей. Хорошо помню давний разговор с членом совета директоров и экс-гендиректором немецкой x-FAB Юргеном Штраубом, который, делая многолетним опытом, настаивал, что для обеспечения нормальной экономики производства и приемлемого

процента выхода годных кристаллов необходимо выпускать не менее 5000 пластин в месяц по одному технологическому процессу или очень близким техпроцессам.

В ближайшее десятилетие производителей, способных изготавливать микросхемы по нормам менее 14 нм, в мире будут единицы (табл. 2). Но дело не только в нормах. В электронике несколько десятков технологических направлений. Для качественного развития каждое из них требует вложений в миллиарды и десятки миллиардов долларов. И даже при условии приоритизации финансовой поддержки российской микроэлектроники, такой объем инвестиций невозможен – бюджет страны не резиновый.

Очевидно, что проблема обеспечения суверенитета не решается «в лоб» импортозамещением. Нужен некий обходной маневр.

Таблица 1. Инвестиции в полупроводниковую промышленность, анонсированные в 2021-2022 годах [3]

Страна	Не менее, долл. США	Не более, долл. США
Китай	22 832 600 000	22 832 600 000
Франция	5 700 000 000	5 700 000 000
Германия	26 109 000 000	26 161 000 000
Индия	22 500 000 000	22 500 000 000
Ирландия	11 800 000 000	11 800 000 000
Италия	5 125 000 000	5 125 000 000
Япония	10 044 000 000	11 044 000 000
Малайзия	9 300 000 000	9 300 000 000
Сингапур	9 000 000 000	9 000 000 000
Южная Корея	10 600 000 000	10 600 000 000
Тайвань	3 501 000 000	3 501 000 000
Великобритания	100 000 000	100 000 000
США	165 457 000 000	325 649 000 000
Вьетнам	1 050 000 000	1 100 000 000
Итого:	303 118 600 000	464 412 600 000

Таблица 2. Крупнейшие контрактные производители (foundry) по выручке в IV кв. 2022 года [4]

Компания	Локация	Мин. нормы, нм	Выручка в IV кв. 2022 г., млн долл.	Доля рынка, %
TSMC	Тайвань	3	19 962	58,5
Samsung	Ю. Корея	7	5 391	15,8
UMC	Тайвань	14	2 165	6,3
GF	США	12	2 101	6,2
SMIC	Китай	28	1 621	4,7
Huahong Gr.	Китай	22	882	2,6
PSMC	Тайвань	22	408	1,2
Tower	Япония	45	403	1,2
VIS	Сингапур	180	305	0,9
DB Hitek	Ю. Корея	90	292	0,9
Итого:			33 530	97

ДОЛГОСРОЧНАЯ ЦЕЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СУВЕРЕНИТЕТА

Цепочки поставки в микроэлектронике огромны и растут в геометрической прогрессии, если проследить их ветвистые пути в обратном направлении: от конечного изделия – микросхемы до первозданных «песка и руды», являющихся базовыми материалами (рис. 2). Так, для

производства чипов разных типов требуется более 300 различных материалов (в том числе на основе редкоземельных элементов), не менее сотни газов (как массовых, так и специфических сверхчистых), около 500 различных химикатов (фоторезистов, суспензий, кислот и т. д.).

Более того, различные особенности, присущие химикатам, изготавливаемым разными производителями, часто не позволяют предприятиям быстро переключаться на материалы других поставщиков.

История богата примерами недружественных ограничений экспорта материалов, газов и химикатов, используемых в микроэлектронике, вводимых против конкретных стран. Россия здесь не одинока. Так, в 2019 году Япония по политическим мотивам фактически запретила экспорт ряда технических газов в Ю. Корею (экспорт фтористого водорода сократился с 3026 тонн в июне 2019 года до 529,9 тонны в июне и 0,3 тонны в октябре) [5]. В ходе дипломатического обострения в 2010 году Пекином был наложен запрет на экспорт РЗЭ в Японию. Значительный контроль Китая над полупроводниковыми материалами представляет серьезную угрозу для стран коллективно-Запада. В период с 2017 по 2020 год Китай был источником 78% импорта РЗЭ в США, при этом по 12 веществам они на 100% зависят от Поднебесной [6].

Таким образом, самодостаточность не может быть признана целью, ее цена слишком велика. Целью технологического суверенитета должно быть максимальное повышение устойчивости и управляемости цепочек поставки, диверсификация рисков.

Стратегически необходимо налаживать кооперацию с дружественными странами и компаниями, способными поставлять материалы и, что особенно важно в контексте данной статьи, компоненты для микросхем. Нужно разрабатывать и внедрять общие стандарты в целях обеспечения

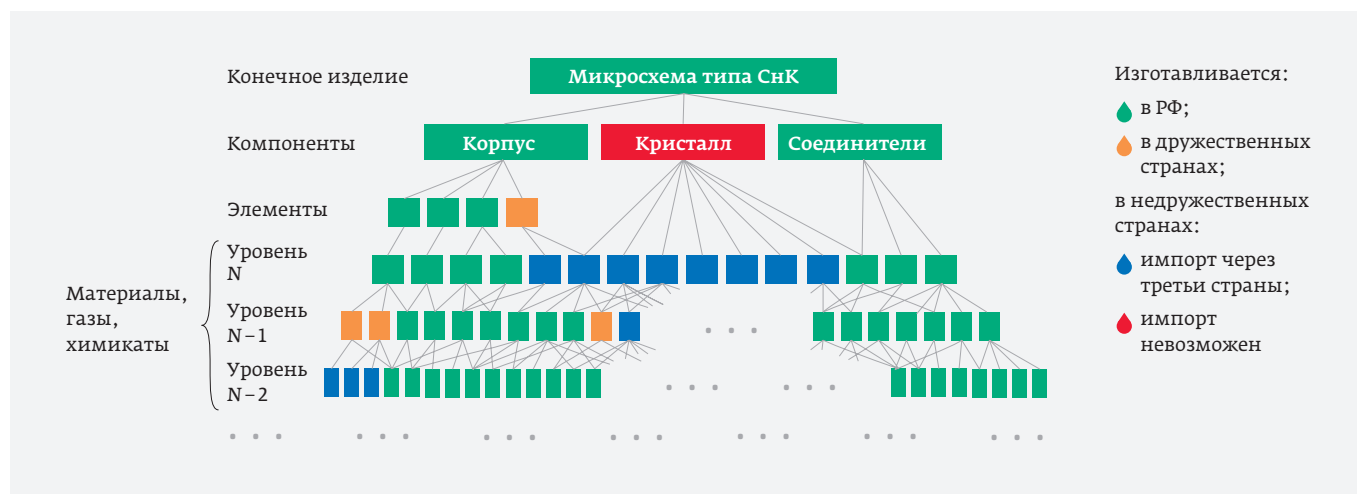
**Рис. 2.** От базовых материалов до микросхемы типа СнК (упрощенная схема переделов)



Рис. 3. СвК/многокристалльные модули в сравнении с архитектурами на основе чиплетов (гетерогенная интеграция).
Источник: Cadence [7]

совместимости решений и упрощения закрепления своих ниш в цепочке производства микроэлектроники.

Однако возникает вопрос: каким образом это делать в условиях ограниченности ресурсов именно в текущей стадии технологического цикла отрасли? Причем с прицелом на создание перспективного задела для перехода на новый технологический уклад.

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИПЛЕТОВ И ГЕТЕРОГЕННАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

Тенденции к созданию решений, обладающих уникальными характеристиками, путем агрегирования неупакованных кристаллов на подложке возникают в электронной индустрии с двух сторон: во-первых, со стороны разработчиков радиоэлектроники, во-вторых, со стороны разработчиков микроэлектроники (рис. 3).

Чиплеты являются следующей фазой развития этого подхода, активно развивающейся в последние несколько лет.

В отличие от классического кристалла, чиплет (от англ. chiplet, где суффикс -let придает уменьшительно-ласкательный смысл, например, book = книга + «-let» = = booklet = книжечка) – это крошечная микросхема, специально разработанная для совместной работы с другими себе подобными (а не самостоятельно). Набор чиплетов может быть реализован в сборке, похожей на LEGO. В массовых продуктах первое решение с использованием

чиплетов впервые появилось в 2017 году в процессорах Ryzen Threadripper от AMD.

Чиплеты могут быть изготовлены с использованием различных процессов и материалов. В этом случае мы имеем дело с гетерогенной интеграцией (рис. 4, 5).

В общем случае гетерогенная интеграция – это объединение отдельно изготовленных компонентов на более высоком уровне. Компонентом может быть отдельный кристалл, МЭМС-устройство, пассивный компонент, а также собранный корпус или подсистема, которые объединены в едином корпусе. Гетерогенность возникает из-за материала, типа компонента или его производителя, типа схемы, узла, метода соединения.

Действующий президент РАН Г. Я. Красников подтверждает, что отечественными предприятиями начато освоение таких технологий, как 3D-сборка, в том числе с применением интерпозеров, которые интегрируют в одном электронном компоненте кристаллы из кремния, нитрида галлия, арсенида галлия [8].

Такое внимание РАН к гетерогенной интеграции обоснованно. Однако в последние годы опережающими темпами растет интерес отраслевого и научного сообщества именно к чиплетам. Динамика патентной активности за последние семь лет, представленная на рис. 6, указывает на то, что интерес к чиплетам растет схожими темпами с интересом к совершенно «хайповой» теме – машинному обучению.

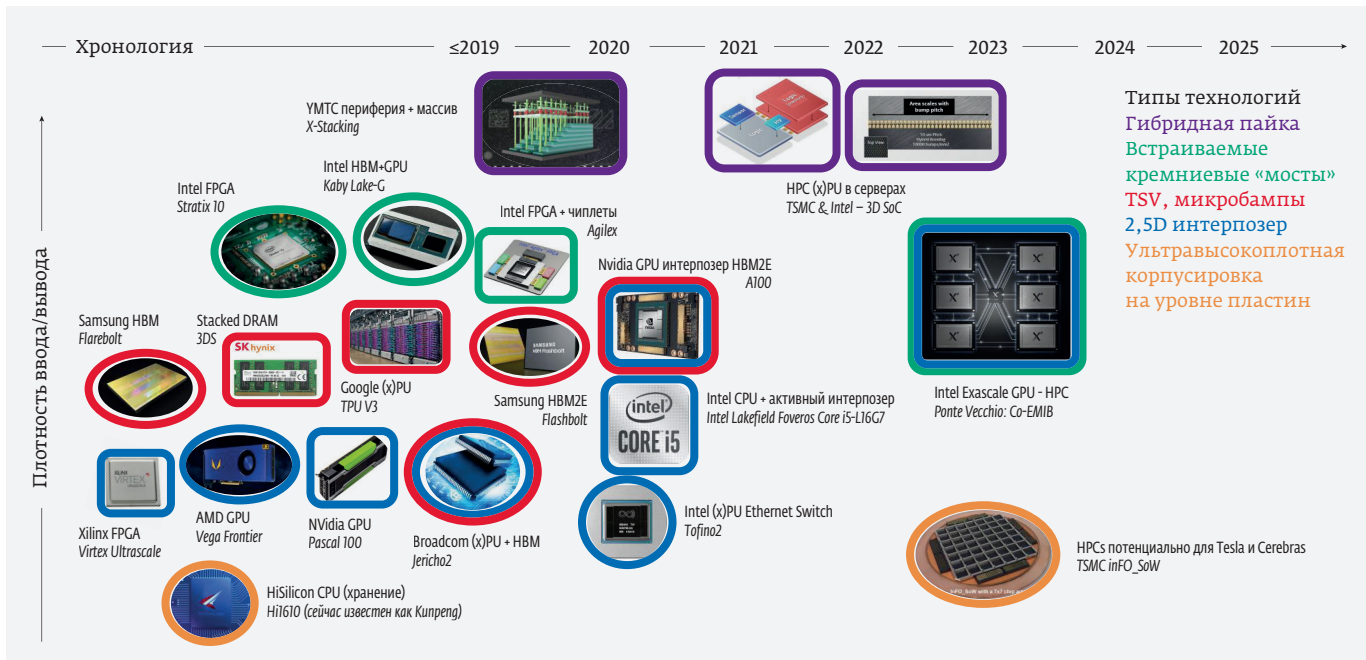


Рис. 4. Дорожная карта технологий продвинутой упаковки 3D/2.5D. Источник: Yole Development, 2020

Согласно отчету, опубликованному Transparency Market Research, к 2031 году рынок чиплетов, как ожидается, достигнет 47,2 млрд долл. [9]. Это соответствует среднегодовому темпу роста в 23,9% с 2021 года. Прогноз учитывает увеличение спроса на высокопроизводительные вычисления, а также растущую тенденцию к модульности и кастомизации изделий микроэлектроники.

Чиплеты позволяют легко конфигурировать готовую СвК, в отличие от СнК. Дизайн-центры могут доработать один или несколько чиплетов уже выпускаемого продукта, при этом не затрагивая остальные. Затраты на разработку будут намного меньше, чем при переделке уже существующей монолитной схемы. Важным следствием

ПРЕИМУЩЕСТВА РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЧИПЛЕТОВ И ГЕТЕРОГЕННОЙ ИНТЕГРАЦИИ

В одной СвК можно использовать чиплеты, изготовленные по разным техпроцессам, при этом для некоторых частей чипа разумно использовать более зрелые и «толстые» техпроцессы с меньшим уровнем брака и лучшей экономикой производства (рис. 7).

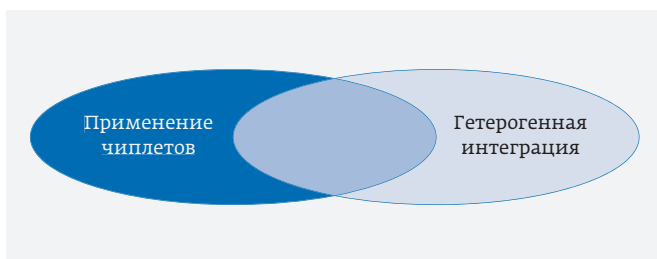


Рис. 5. Соотнесение множества проектов с использованием гетерогенной интеграции и применением чиплетов

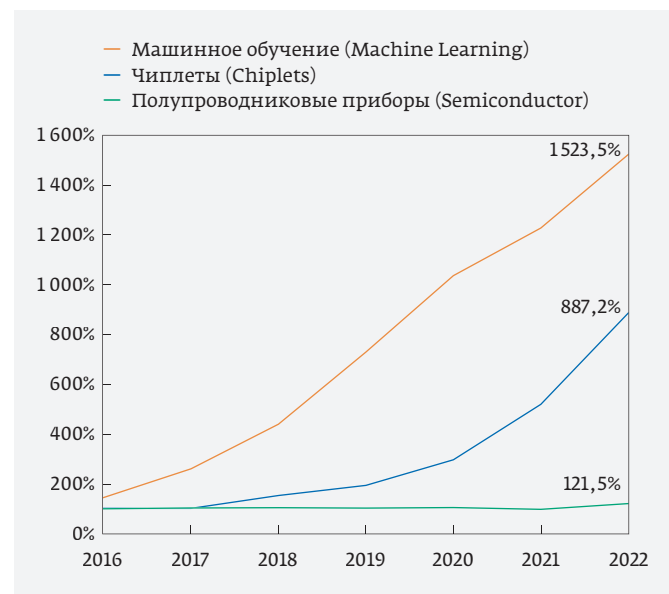
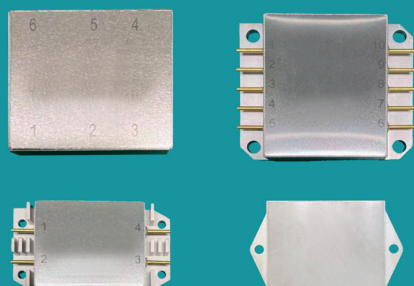


Рис. 6. Динамика патентной активности. Источник: University of Toronto, 2023



125367, г. Москва,
вн.тер.г. муниципальный округ
Покровское-Стрешнево, пр-д Полесский,
д. 16, стр. 1, пом. 9/1/2,
тел.: +7 (495) 232-14-67 (доб. 382), +7 (981) 965-02-44,
info@ooo-farad.ru, www.ooo-farad.ru

DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ФИЛЬТРЫ ПИТАНИЯ



Предлагаем к поставке высококачественные DC/DC преобразователи и фильтры питания из Китая, предназначенные для специального применения в герметичном корпусе. Данные изделия являются аналогами DC/DC преобразователей и фильтров фирмы Interpoint и VPT.

Область применения:

- ▶ аэрокосмическая отрасль (спутники, ракеты, космические станции);
- ▶ военная техника;
- ▶ авиация и высокотехнологичные военные области;
- ▶ оборудование, обладающее повышенной надежностью.

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

Наименование	Серия YWSA2800S	Серия YWSA2800D	Серия YWHF2800S	Серия YWHF2800D	Серия YWTR2800S	Серия YWTR2800D
Диапазон входных напряжений, В	от 15 до 50					
Макс. выходная мощность, Вт	6	6	20	20	40	40
Выходное напряжение, В	3,3 5,0 12,0 15,0	±5,0 ±7,0 ±12,0 ±15,0	5,0 12,0 15,0 18,0	±5,0 ±15,0	5,0 15,0	±5,0 ±15,0
Диапазон рабочих температур, °С	от -55 до 125					

Наименование	Interpoint	VPT
YWSA2805S	MSA2805S	SVSA2805S/H
YWSA2812S	MSA2812S	
YWSA2815S	MSA2815S	DVCH2815S/H
YWSA2805D	MSA2805D	
TSA2812D	MSA2812D	SVSA2812D/H+
TSA2815D	MSA2815D	
YWHF2805S	MHV2805S	DVHE2805S/H
YWHF2812S	MHV2812S	
YWHF2815S	MHV2815S	
YWHF2805D	MHV2805D	
YWHF2815D	MHV2815D	
YWTR2805S	MTR2805S	
YWTR2815S	MTR2815S	
YWTR2805D	MTR2805D	
YWTR2815D	MTR2815D	
YWHF2818S		DVTR2818S/H
YWHH28DC5A-B		DVMC28/H
YWHH28DC10A		DVMD28/H

Более подробную информацию и консультацию Вы можете получить у нашего технического специалиста

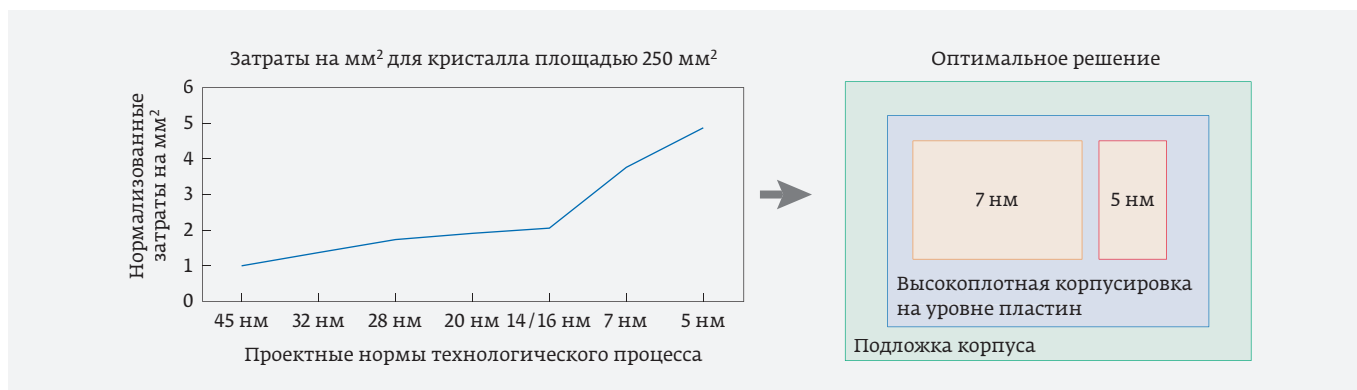


Рис. 7. Фактор стоимости СвК при применении различных технологических норм чиплетов.

Источник: Amkor Technology, 2021

(часто самым важным) является сокращение времени от концепции изделия до вывода продукта на рынок.

Использование чиплетов уменьшает количество брака на единицу продукта благодаря более мелким размерам кристаллов (рис. 8).

В условиях наложения санкций, запрещающих экспорт микроэлектроники в Россию из недружественных стран, были прекращены поставки в нашу страну процессоров (рис. 9а). Также иностранные foundry-фабрики отказались изготавливать кристаллы микросхем российских дизайн-центров. На рис. 9б представлен внешний вид кристалла 48-ядерного серверного процессора Baikal BE-S1000, который должен был изготавливать тайваньский TSMC по технологии 16 нм. Его поставки были прекращены.

Вполне логичный вариант обхода санкций с заказом Baikal BE-S1000 через третьи страны натывается на

существенный нюанс: площадь кристалла составляет 607 мм². Очевидно, что у любого контрактного производителя возникает закономерный вопрос к заказчику о конечном применении такого «монстра».

Невооруженным взглядом видна достаточно регулярная структура современного многоядерного процессора (рис. 9б). Функциональные IP-блоки монолитного кристалла СнК могут быть реализованы в виде отдельных чиплетов (рис. 9в) и затем объединены в СвК. При таком подходе необходим импорт чиплетов, каждый из которых имеет на порядок меньшую площадь в сравнении с СнК. Более того, часть чиплетов могла бы быть реализована на заводах дружественных стран или отечественных фабриках по более зрелым и «толстым» технологическим нормам.

Для визуального представления изменений в технологических переделах при подходе, основанном на применении чиплетов и гетерогенной интеграции преобразуем рис. 2 в рис. 10.

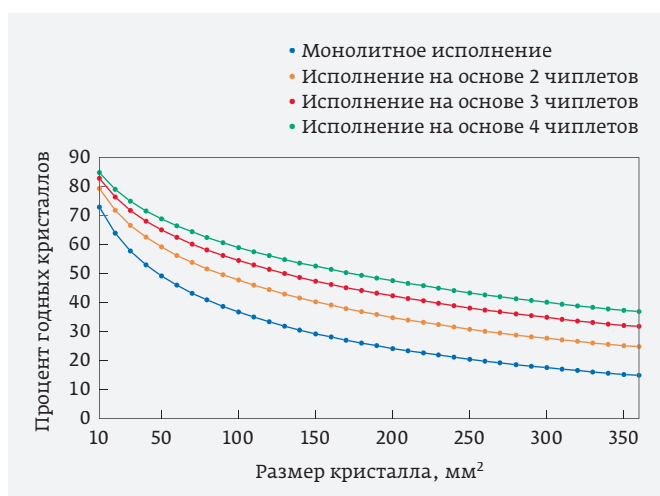


Рис. 8. Сравнение количества брака при чиплетном и монолитном дизайне. Источник: WikiChip

КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИЙ НА БАЗЕ ЧИПЛЕТОВ И ГЕТЕРОГЕННОЙ ИНТЕГРАЦИИ

Чиплеты являются горячей темой в полупроводниковой промышленности и представляют собой изменение парадигмы как для разработчиков микросхем, так и для потребителей микросхем.

Одна из замечательных вещей, которую люди хотят сделать, – это собрать чиплеты от разных производителей.

Гомогенные (однородные) чиплеты обладают некоторыми преимуществами, упомянутыми выше, однако, поскольку они изготавливаются одним поставщиком чипов, это не дает всех преимуществ (и проблем), которые есть у гетерогенных чиплетов.

Главная проблема чиплетов – дополнительные временные задержки при передаче данных, детерминированные проводниками подложки. При этом интерфейс между



Акционерное общество ЭРКОН

Научно-производственное объединение

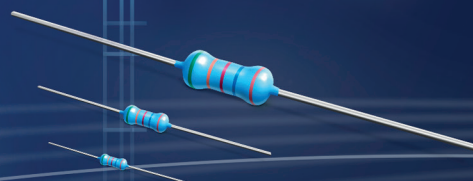
ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА
И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ
РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНУАТОРОВ
И ЧИП-ИНДУКТИВНОСТЕЙ

Изделия по вашему ТЗ

- *Современная производственная база*
- *Высокое качество*
- *Индивидуальный подход к потребителю*

НОВИНКИ

Эквиваленты нагрузок ПР1-24 (от 50 Вт – 2000 Вт)
Аттенюаторы ПР1-25 (от 50 Вт – 2000 Вт)
ТПИ – тепловые чип-перемычки
СВЧ-резисторы Р1-160 (до 40 ГГц)
Мощные СВЧ-резисторы Р1-170 (до 1000 Вт)
Силовые резисторы Р1-150М (до 1500 В)



603104, г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6.
тел.: 8 (831) 202 - 25 - 52, доб. 2-61 (группа развития)
8 (831) 202 - 25 - 52 (отдел продаж)

E-mail: gr@erkon-nn.ru
www.erkon-nn.ru

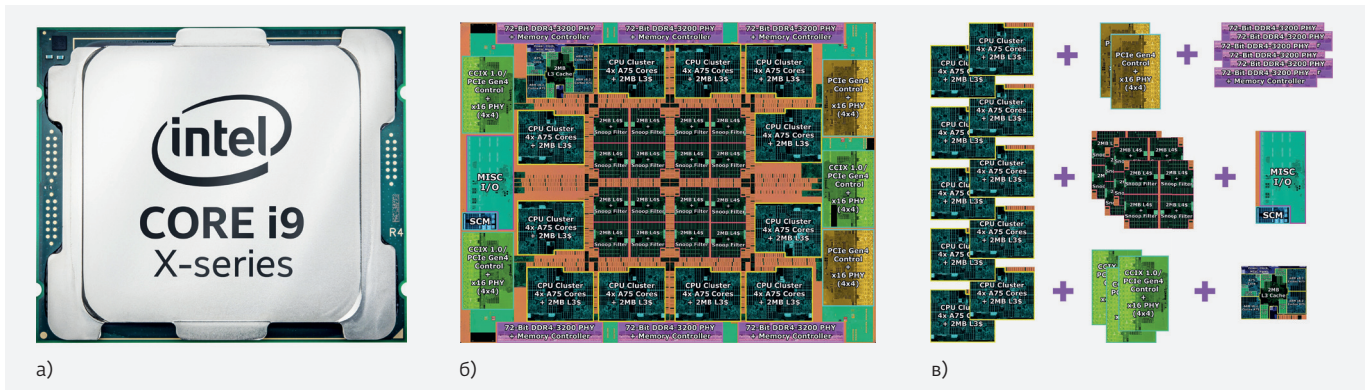


Рис. 9. Варианты импорта для обеспечения процессорами: а – импортный в корпусе; б – в кристалле SnK; в – в виде чиплетов для сборки в СвК

чиплетами является ключевым фактором перехода от монокристаллической SnK к многокристальной СвК. Несмотря на то, что рассматриваемые технологии развиваются уже не первый год, пока нет единых стандартов соединения чиплетов. Стандарт Universal Chiplet Interconnect Express (UCIe), выпущенный в 2022 году, стал значимым шагом в этом направлении.

Одна из проблем заключается в том, как интегрировать чипы, изготовленные по разным технологиям и использовать разные подложки или диэлектрические пленки, которые могут по-разному реагировать на нагрев или стареть с разной скоростью в разных условиях.

Инновационные способы сборки, усовершенствование и удешевление технологий изготовления кремниевых интерповеров с TSV и мостов-переходников (типа EMIB и LSI),

формирования RDL-слоев (типа Fan-Out) будут оставаться вызовом для отрасли в ближайшие годы.

Есть много вопросов по дизайну таких СвК, связанных с тем, что размещение и маршрутизацию необходимо выполнять в нескольких слоях.

При всех преимуществах чиплетов у них есть недостатки с точки зрения безопасности. Существует уязвимость из-за вредоносных поддельных систем, проникших в производственный процесс любого из интегрируемых чиплетов. Поскольку при использовании чиплетов больше участников цепочки поставок, существует повышенная вероятность наличия аппаратных троянов в одном из множества чиплетов. Возникают риски атаки через интерфейсы между чиплетами внутри СвК.

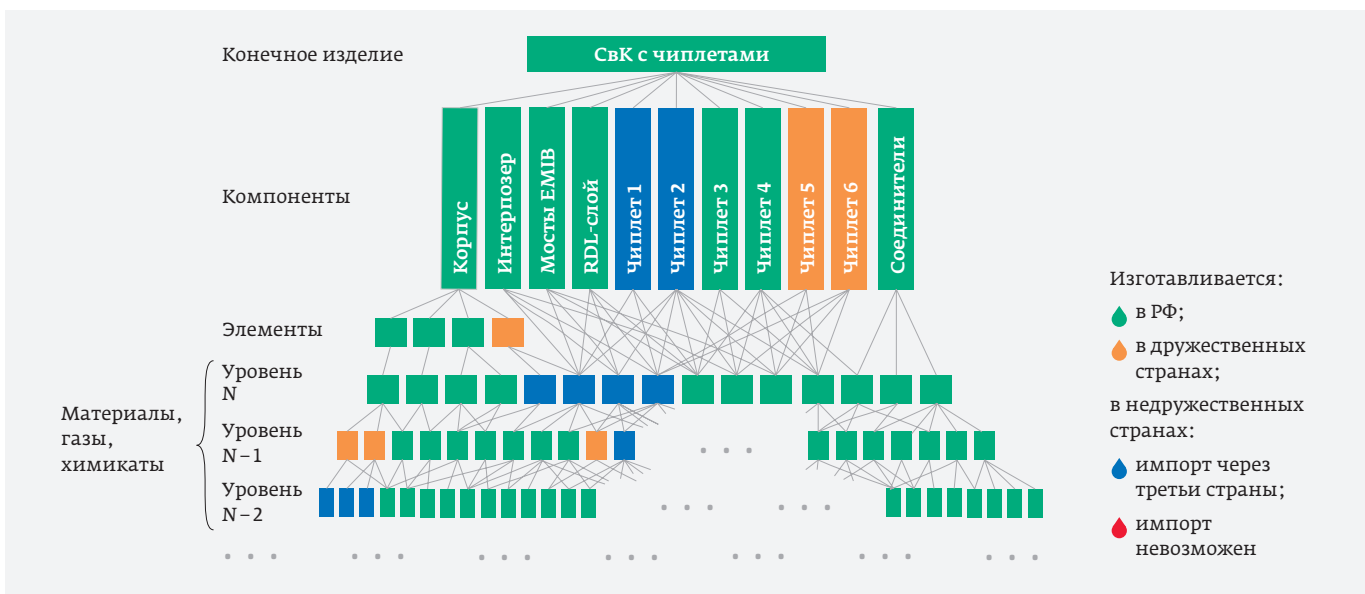


Рис. 10. От базовых материалов до СвК на чиплетах (упрощенная схема переделов)

Коммерческие вызовы также актуальны. Очевидна необходимость функционирования развитых маркетплейсов с чиплетами наподобие Design & Reuse (веб-портал IP-блоков). Нужна экосистема чиплетов, которой в мире фактически нет. Присутствие чиплетов разных производителей неминуемо ставит перед бизнесом вопросы о том, кто гарантирует качество дизайна и работоспособность изделий и кому принадлежит цепочка поставок. Многие потенциальные бизнес-проблемы вероятно должны решаться на основе контрактов, заключаемых до начала проектирования многокристальной (многочиплетной) сборки.

Создать коммерческий рынок чиплетов, на котором чиплеты разных поставщиков будут разрабатываться в соответствии со стандартами, позволяющими им работать по принципу plug-and-play, потребует времени и усилий.

* * *

Идея чиплетов определенно набирает обороты. Это все еще немного мечта с точки зрения бизнеса, но уже есть многочисленные успешные кейсы.

С непрерывным развитием микросистемной технологии гетерогенная интеграция станет для микросистем способом достижения оптимальной производительности и функциональности, меньших размеров, энергопотребления и стоимости. Она станет связующим звеном между микрочипом и системной интеграцией.

Впереди нас ждет эра чиплетов и гетерогенной интеграции.

Недавно Хайнинг из Fraunhofer Institute сказал, что никто не хочет первым строить систему из чиплетов разных производителей и тратить миллионы долларов для обкатки всей цепочки поставок, чтобы показать всем, как это может работать [10]. Они предпочитают быть вторыми.

В этом есть смысл с точки зрения бизнеса. Однако, стратегические задачи страны в новых условиях могут заставить по-иному посмотреть и на тактику. Успех запуска первого спутника в космос был предопределен как раз подобным выбором.

ЛИТЕРАТУРА

1. Импортзамещение по-американски: крупнейшие производители полупроводников мира строят фабрики в США: <https://habr.com/ru/companies/selectel/articles/684146/>
2. China's IC Production Forecast to Double Over Next 5 Years: <https://www.eetimes.com/chinas-ic-production-forecast-to-double-over-next-5-years/>
3. Where All The Semiconductor Investments Are Going: <https://semiengineering.com/where-all-the-semiconductor-investments-are-going/>
4. Total Revenue of Top 10 Foundries: <https://trendforce.com/presscenter/news/19700101-11612.html>
5. Korea's Hydrogen Fluoride Imports from Japan Recover to 1,000 Tons: <http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=116920>
6. Микроэлектроника: Тревожная ситуация с материалами для микроэлектроники: <http://www.mforum.ru/news/article/124029.htm>
7. Designing For Multiple Die: <https://semiengineering.com/designing-for-multiple-die/>
8. **Красников Г. Я.** Доклад Председателю Правительства М. В. Мишустину // Стенограмма совещания Правительства РФ по развитию электроники от 30.08.2022
9. Introduction to Chiplet Technology: <https://anysilicon.com/the-ultimate-guide-to-chiplets/>
10. Mechanical Challenges Rise With Heterogeneous Integration: <https://semiengineering.com/mechanical-challenges-increase-with-chiplet-integration/>

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 420 руб.

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Издание 3-е., испр. и перераб.

Анцупов А. Я.

В книге обосновывается ключевая роль стратегического управления, дается краткая характеристика состояния зарубежной и отечественной стратегической мысли. Демонстрируется определяющая роль психики лидера в разработке стратегии, раскрывается ее влияние на качество стратегического управления и границы картины мира у стратега. Прикладным ядром работы является авторская концепция оптимизированного цикла стратегического управления. Она включает четыре частных цикла: обоснование, принятие, выполнение стратегии, обобщение опыта стратегического управления. Предпринимается попытка анализа глобальных проблем советских и российских стратегов XX и XXI веков, раскрываются актуальные и прикладные проблемы стратегического управления. Анализируются проблемы риска, внезапности и нестандартных решений в стратегическом управлении. Предлагаются рекомендации лидерам по избавлению от стресса и развитию стратегического мышления.

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2015. – 344 с.
ISBN: 978-5-94836-406-3

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru