

Глобализация и монополизация микроэлектроники в современных условиях

Н. Шелепин, д. т. н.¹

УДК 621.382 | ВАК 2.2.2

Сегодня наряду с глобализацией мирового производства микроэлектроники и объединением усилий мировых компаний в рамках альянсов и ассоциаций формируется тренд на монополизацию производства и ограничение доступа к наиболее совершенным технологиям как для отдельных компаний, так и для некоторых стран. В статье рассмотрено современное состояние производства полупроводников в мире, тенденции и перспективы развития микроэлектронных технологий в различных регионах. Отмечено, что в 2022 году на наиболее передовой технологический уровень 3 нм вышли только две компании – TSMC и Samsung. Описаны беспрецедентные усилия США по возврату ведущих микроэлектронных производств на свою территорию и меры по противодействию развитию технологий в Китае.

СОСТОЯНИЕ МИРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Объем глобального рынка полупроводниковых приборов в 2019 году оценивался на уровне, превышающем 400 млрд долл. В 2020 и 2021 годах этот рынок составил соответственно 466,8 и 583,5 млрд долл. [9]. Структура этого рынка как по видам приборов, так и по областям потребления за 2018 год описана в [1, 2]. Конечно процентное соотношение за три года меняется, но в целом эти данные дают представление о соотношении объемов производства между различными типами полупроводниковых приборов и областей их применения.

Ведущие мировые компании

В табл. 1 представлена информация о выручке ведущих полупроводниковых компаний за 2020 и 2021 годы, продажи которых составили более 10 млрд долл. в 2021 году, по данным SEMI [3].

Рассмотрим специализацию компаний из этого списка. Samsung выпускает различную номенклатуру микросхем, в том числе значительный объем ИС памяти, а также занимает крупную долю в контрактном производстве (foundry). Intel и AMD – ведущие производители микропроцессоров для компьютеров,

TSMC – крупнейшее контрактное производство по широкому классу технологий. SK Hynix, Micron, Kioxia специализируются на ИС памяти, Texas Instrument, Analog Devices – на аналого-цифровых схемах. Отдельно следует отметить, что шесть компаний из этого списка не имеют своих фабрик для изготовления чипов. Broadcom и Qualcomm – лидеры в коммуникационных чипах, а Apple разрабатывает и заказывает производство чипов для собственных планшетов и смартфонов. Специализация остальных крупных компаний выражена не столь явно.

Фабрики самых крупных компаний расположены в разных странах. В табл. 2 представлено распределение производственных мощностей по регионам [1].

Следует констатировать, что Юго-Восточная Азия в лице Тайваня, Кореи, Японии, Китая и, входящие в категорию «остальные», Малайзия и Сингапур обеспечивают три четверти мирового производства пластин.

Компании контрактного производства (foundry) и компании разработчиков (fabless)

В определенные периоды своего развития, многим не самым крупным компаниям, осуществлявшим и разработку, и производство своих микросхем, стало сложно находить средства для инвестиций и перехода на все более мелкие проектные нормы. Кроме того, для многих стартапов, осуществлявших эффективные разработки новых схмотехнических и архитектурных решений,

¹ Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН, руководитель научного направления «Микроэлектроника», n.shelepin@list.ru.

стал большой проблемой вход на рынок вследствие дороговизны строительства новых фабрик. Эти два фактора, в основном, стали причиной появления фабрик, которые вообще не ведут разработку собственных микросхем, а разрабатывают технологии и предоставляют свои мощности по изготовлению пластин с микросхемами сторонним разработчикам.

Начало этому было положено в 1987 году на Тайване с основанием компании Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC). Бизнес-модель оказалась очень удачной. У TSMC появилось впоследствии много последователей и не только в области технологий кремниевых микросхем, но и практически во всех направлениях полупроводниковой электроники. Это позволило компаниям, в том числе мелким, работающим по fabless-модели, получить доступ к самым передовым технологиям, что обеспечило появление многомиллиардного полупроводникового бизнеса по данной модели. В табл. 3 представлены крупнейшие foundry-компании 2019 года, а в табл. 4 – крупнейшие fabless-компании.

Таблица 1. Выручка ведущих полупроводниковых компаний по данным SEMI (млрд долл.)

2021 год	2020 год	Компания	Головной офис	2020 год	2021 год	% изменения 2021/2020 годы
1	2	Samsung	Ю. Корея	61,9	83,1	34
2	1	Intel	США	76,3	75,6	-1
3	3	TSMC ¹	Тайвань	45,6	56,6	24
4	4	SK Hynix	Ю. Корея	27,1	37,3	38
5	5	Micron	США	22,5	29,1	33
6	6	Qualcomm ²	США	19,4	29,1	51
7	8	Nvidia ²	США	14,7	23,0	57
8	7	Broadcom Inc. ²	США	17,7	21,0	18
9	12	Media Tec ²	Тайвань	11,0	17,6	60
10	9	TI	США	13,6	16,9	25
11	15	AMD ²	США	9,8	16,1	65
12	11	Infineon	Европа	11,2	13,6	21
13	10	Apple ²	США	11,4	13,4	17
14	14	ST	Европа	10,2	12,1	24
15	13	Kioxia (Toshiba)	Япония	10,6	12,1	15
16	17	NXP	Европа	8,4	10,7	28
17	19	Analog Devices ³	США	8,1	10,1	26

Примечания: 1 – foundry, 2 – fabless, 3 – включая продажи компаний, приобретенных в 2020 и 2021 годах (источник: IC Insights, декабрь 2021 года).

Производство технологического оборудования

Производство оборудования для передовых технологий практически сосредоточено в США и Японии. К ним «примыкает» голландская ASML, которая обеспечивает 80% мирового рынка литографического оборудования. Остальные 20% делят между собой японские Canon и Nikon. Объем рынка технологического оборудования в 2018 году составил около 50 млрд долл. Но отрасль настолько быстро наращивает производственные мощности, что уже в 2022 году объемы продаж оборудования превысят 100 млрд долл. по данным отчета SEMI World Fab Forecast [4]. Самые высокие расходы на приобретение оборудования будут на Тайване – рост составит 52% по сравнению с прошлым годом и продажи достигнут 34 млрд долл. За ним следует Корея, где ожидается 25,5 млрд долл. инвестиций, что соответствует 7%-ному росту. В Китае расходы составят 17 млрд долл., что на 14% меньше, чем в прошлом году.

Таблица 2. География мощностей мирового производства полупроводниковой электроники, приведенная к объему эквивалентных пластин диаметром 200 мм на 2018 год

№	Регион	Мощность*	Доля, %
1	Тайвань	4 126	21,8
2	Южная Корея	4 033	21,3
3	Япония	3 168	16,8
4	Северная Америка	2 426	12,8
5	Китай	2 361	12,5
6	Европа	1 138	6,0
7	Остальные	1 646	8,7
Всего:		18 897	100

* Тысяч эквивалентных пластин диаметром 200 мм в месяц.

Таблица 3. Крупнейшие контрактные производства микросхем по состоянию на 2019 год [1]

№	Компания	Регион головного офиса	Регионы расположения фабрик	Примерная выручка, млрд долл.	Минимальные проектные нормы, нм
1	TSMC	Тайвань	Тайвань, Китай, США, Сингапур	35	7
2	Samsung*	Корея	Корея, Китай	12	7
3	GlobalFoundries	США	США, Германия, Сингапур	6	14
4	UMC	Тайвань	Тайвань, Китай, Сингапур	5	14
5	SMIC	Китай	Китай	3	14
6	TowerJazz	Израиль	Израиль, США	1,2	45
7	HN Grace	Китай	Китай	0,9	90
8	VIS	Тайвань	Тайвань	0,8	110
9	Powerchip	Тайвань	Тайвань	0,8	20
10	Dongbu HiTek	Корея	Корея	0,6	90
11	Остальные			2,5	

* Для Samsung даны ориентировочные показатели только по контрактному производству для внешних заказчиков.

Таблица 4. Крупнейшие fabless-компании по состоянию на 2019 год [1]

№	Компания	Регион головного офиса	Примерная выручка, млрд долл.	Область применения продукции
1	Qualcomm*	США	16	Смартфоны, телеком
2	Broadcom*	США	16	Телеком
3	Nvidia	США	12	Видеокарты
4	Mediatek	Тайвань	8	Схемы для телефонов
5	HiSilicon	Китай	7,2	Схемы для телефонов
6	Apple*	США	7	Схемы для телефонов
7	AMD	США	6,5	Процессоры, видеокарты, АЦП-ЦАП
8	Xilinx	США	3,05	ПЛИС
9	Marvell	США	2,89	Процессоры, телеком
10	Novatek	Тайвань	2,1	Драйверы дисплеев
11	Остальные		Около 25	

* Выручка только по объемам поставок микросхем.

ОСНОВНЫЕ СОБЫТИЯ И ПЛАНЫ РАЗВИТИЯ КРУПНЕЙШИХ КОМПАНИЙ И РЕГИОНОВ США

Основные «микроэлектронные» события в США делятся на две категории: а – создание и развитие новых производств и технологий непосредственно на территории США; б – меры по ограничению распространения технологий в других странах. Количество новостей о передовых достижениях значительно меньше, но они тоже имеют. Пожалуй, главной новостью 2022 года стало принятие долго обсуждаемого и согласовываемого «закона о чипах» – CHIPS and Science Act. Закон предусматривает общие расходы в объеме 280 млрд долл., 52 млрд из которых будут потрачены на субсидии для производителей чипов. Ожидается, что это позволит привлечь компании к строительству полупроводниковых заводов на территории США. Причем, эти ожидания уже начали реализовываться.

После торжественного открытия строительства завода под технологию уровня 7 нм еще до принятия этого закона компания Intel совместно с канадской компанией Brookfield в этом году заявила о строительстве еще двух заводов в штате Аризона общей стоимостью 30 млрд долл. В научно-технической части развития Intel обнародовала технические подробности будущего техпроцесса Intel 4. Он найдет применение в процессорах Meteor Lake, запуск которых запланирован на 2023 год [5]. Запуск техпроцесса Intel 4 – ключевой для компании этап в пятилетнем плане по возвращению технологического лидерства. (Примечание: некоторое время назад Intel потеряла мировое лидерство в технологии, «пропустив» вперед TSMC и Samsung). Фактически только в этом процессе Intel начнет активное использование EUV-литографии, которую конкуренты уже используют в текущем производстве. Еще одним существенным улучшением является использование новой системы металлизации на критических участках (вероятно, на нижних уровнях с минимальными размерами и ультра high-K-диэлектриком), которая состоит из чистой меди с танталовым барьером и кобальтовым покрытием. Массовое производство чипов по техпроцессу Intel 4 сначала будет развернуто на площадке в Хиллсборо, а затем и в Ирландии.

Следующей по значимости и научно-техническому уровню компаний США является Micron Technology, специализацией которой являются схемы памяти. Компания объявила о планах очень крупных инвестиций (до 100 млрд долл.) в течение следующих 20 лет в создание производственного комплекса в штате Нью-Йорк, который должен стать крупнейшим в мире и создать около 50 тыс. рабочих мест. Ранее компания заявила о намерении вложить 40 млрд долл. до 2030 года в производство памяти в США. Также планируется инвестировать 15 млрд в завод по изготовлению полупроводников, который

разместят в штате Айдахо. Естественно, такие заявления базируются на принятом законе, и компании рассчитывают на существенные субсидии. Можно констатировать, что борьба за эти субсидии началась. В рамках завоевания технологического лидерства и конкуренции с корейскими производителями памяти Micron начала поставки флеш-памяти шестого поколения. Речь идет о чипах TLC 3D NAND-памяти с 232 слоями емкостью 1 Тбит [6]. Это на сегодня самая передовая в мире TLC 3D NAND-память. Достигнут показатель 14,6 Гбит/мм², что на 43% выше, чем в памяти Micron с 176 слоями, и как минимум на 35% лучше, чем у ближайшего конкурента. 232-слойные кристаллы производятся путем формирования структуры из двух 116-слойных кристаллов. В флеш-памяти Micron используется архитектура с замещающим затвором и технология CMOS under Array (CuA), при которой управляющая логика расположена под ячейками памяти. Скорость 232-слойной TLC 3D NAND-памяти (по сравнению с 176-слойной) выросла на 75% при чтении и на 100% – при записи. Чипы используют интерфейс с частотой 2400 МГц.

Еще одна новость, касающаяся усилий по возврату технологического лидерства. США подписали с Японией соглашение о создании научно-исследовательского центра, на базе которого будет вестись разработка технологий массового производства чипов с использованием техпроцесса 2 нм. В центре также будет создана производственная линия для выпуска прототипов, а конечной целью проекта является запуск массового производства чипов в Японии к 2025 году. Одна из целей – уменьшение зависимости от Тайваня [7, 8]. В дополнение к этим «кремниевым» фабрикам для СБИС можно упомянуть новость из области силовой электроники. Американская компания Wolfspeed, дочернее подразделение компании Cree, торжественно открыла в штате Нью-Йорк крупнейший в мире завод по выпуску силовых полупроводниковых приборов на основе карбида кремния на пластинах диаметром 200 мм. Интересно отметить, что компанию Wolfspeed в 2016 году договорилась купить немецкая компания Infineon. Вскоре сделка была заблокирована американским регулятором, как угрожающая национальной безопасности США. Компании Infineon пришлось выплатить неустойку Wolfspeed, а еще год спустя уже Wolfspeed приобрела подразделение Infineon по производству радиочастотных компонентов (связь, 5G и т. д.), как и ключевые технологии для производства компонентов на основе LDMOS, GaN и SiC [10].

Тайвань

Как следует из табл. 3, в Тайване расположено более 40% мирового контрактного производства микроэлектроники, в том числе по самым передовым технологиям. В основном это реализуется в TSMC – явного мирового лидера контрактного производства. Поэтому рассмотрим

в основном новости об этой компании. Следует отметить существенный рост выручки в последние годы, превысившей в 2021 году 55 млрд долл. Компания создала большую сеть сбора заказов по всему миру и обеспечивает изготовление чипов как для крупнейших *fabless*-компаний (Qualcomm, Broadcom и др.), так и для совсем небольших заказчиков и стартапов. TSMC поддерживает производство по «устаревшим» проектным нормам 0,35–0,5 мкм. Компания сообщила, что собирается до 2025 года увеличить производство продуктов на базе зрелых, а также специализированных техпроцессов на 50%, сообщает ресурс AnandTech [11]. Более детальные сведения о компании представлены в [12]. (Следует отметить, что под понятием «зрелые» техпроцессы в передовых компаниях понимают технологии, включающие уровень 28 нм).

В области освоения передовых технологий TSMC обнародовала дорожную карту до 2025 года: за этот срок компания рассчитывает ввести в строй пять разновидностей 3-нм технологии и освоить техпроцесс с 2-нм нормами. Первый 3-нм техпроцесс N3 планировалось запустить до конца 2022 года. По сравнению с текущей 5-нм технологией он позволит увеличить рабочие частоты на 10–15% или снизить энергопотребление на 25–30%. Плотность транзисторов увеличится в 1,7 раза. В середине 2023 года появится вторая, оптимизированная версия 3-нм процесса – N3E. По сравнению с N3 транзисторы увеличатся в размере на 5–10%, но при этом снизится стоимость чипов. Также на 5–7% возрастут частоты и снизится энергопотребление [13]. При этом TSMC в 2024 году получит новое оборудование ASML (EUV-литографию с высоким показателем числовой апертуры), с которым и планирует через год выйти на уровень 2 нм [14]. В этом техпроцессе запланирован переход на GAAFET-транзисторы (с круговым затвором).

В области расширения производства заявлены следующие планы:

- строительство четырех новых заводов с технологией 3 нм на территории Тайваня [15];
- запуск завода с технологией 28 нм в Китае [16];
- освоение производства чипов на территории США с уровнем технологии 3 нм к 2026 году [17, 18] рядом с уже строящимся заводом с технологией 5 нм (при этом руководство компании отметило, что могут сделать это и без субсидий США, а основной проблемой будет дефицит кадров).

Южная Корея

Как следует из табл. 1, в Корее расположены две крупнейшие мировые компании, занимающие первое и четвертое места. Это известные всем Samsung Electronics и SK Hynix с объемами выручки в 2021 году 83,1 и 37,3 млрд долл. соответственно. Как уже было сказано, SK Hynix специализируется на разработке и производстве СБИС памяти.

Обладает практически такими же технологиями, что и американская Micron. В 2020 году стартовали продажи потребительских SSD на основе 128-слойных СБИС NAND флеш-памяти емкостью 500 Гбайт и 1 Тбайт [19]. Заявлена скорость последовательного чтения/записи до 3500/3200 Мбайт/с, а ресурс 750 полных циклов перезаписей. В самом начале 2022 года компания сообщила о скором появлении на прилавках магазинов SSD-накопителей Platinum P41, которые являются быстрее «твердотельниками» в ассортименте компании для клиентского сегмента. Собственно, это вообще первые PCI-E 4.0 SSD от SK Hynix для потребительского рынка. В этой новинке используются уже новые 176-слойные чипы флеш-памяти емкостью до 2 Тбайт и DDR4 DRAM-кэш емкостью от 512 Мбайт до 2 Гбайт [20]. (Примечание: обратите внимание на серьезную конкуренцию с Micron, эти компании и по объемам выручки расположены по соседству).

Но, естественно, наибольший интерес представляют новости от лидера мирового рынка и уровня освоенных технологий – Samsung. Прежде всего отметим главные достижения последних семи лет (2016–2022 годы):

- в 2016 году начало поставок систем на чипе на техпроцессе 10 нм;
- в 2018 году запуск промышленного производства чипов с технологическим уровнем 7 нм;
- в 2020 году стартовало производство на техпроцессе 5 нм;
- в 2022 году компания Samsung опередила конкурентов и начала поставки чипов на базе 3-нм GAA-транзисторов (транзисторы с окружающим (или круговым) затвором).

Этот впечатляющий рывок в мировые лидеры, видимо, обусловлен возможностями огромных инвестиций в закупку нового оборудования и в разработки, которые обеспечиваются не только выручкой ее микроэлектронного сектора, а и общими продажами в размере 233,4 млрд долл. за 2021 год [21].

Структура транзисторов в рамках 3-нм технологии Samsung претерпела серьезные изменения. Помимо транзисторов с окружающим затвором (GAA), речь идет о компоновке MBCFET и использовании наностраниц при формировании каналов транзистора. В совокупности, как поясняют в Samsung, все эти меры позволяют снизить уровень энергопотребления на 45% по сравнению с 5-нм техпроцессом, улучшить быстродействие транзисторов на 23% и повысить плотность их размещения на 16%. Приведенные показатели справедливы для первого поколения 3-нм продукции Samsung, во втором – обещано снижение энергопотребления на 50%, повышение производительности на 30% и уменьшение занимаемой площади на 35%. Подчеркивается, что внедрение 3-нм техпроцесса начнется с сегмента высокопроизводительных

вычислений, и только потом он доберется до мобильных компонентов. По крайней мере, если речь идет о транзисторах с нанолитами, как поясняет Samsung Electronics в своем пресс-релизе. Напомним, TSMC рассчитывает приступить к массовому производству 3-нм продукции во втором полугодии, но выручку от ее поставок начнет получать лишь в первой половине следующего года. Кроме того, TSMC будет придерживаться более консервативной структуры транзисторов FinFET, приберегая компоновку GAA для 2-нм технологии [22].

Схематично изменение структуры транзисторов показано на рис. 1. В 2021 году компания огласила планы потратить 17 млрд долл. на строительство новой фабрики в Техасе (США), на которой Samsung собиралась выпускать передовые чипы для 5G и высокопроизводительных ИИ-вычислений. Изначально ожидалось, что работа производства начнется уже в 2024 году. Однако сама церемония начала строительства, запланированная прежде на вторую половину 2022 года, до сих пор так и не состоялась. Из-за инфляции многие производители чипов урезают расходы. В последние месяцы, по данным The Elec, в США значительно выросли цены [23]. Однако это не мешает

компаниям заявлять о намерениях закрепить свое технологическое лидерство. После запуска 3-нм техпроцесса компания объявила о своих планах на новые технологии: производство с использованием 1,4-нм процесса начнется через пять лет. Представитель Samsung отметил, что компания продолжит работу над технологическим процессом следующего поколения. Он будет основан на новом поколении технологии GAA. Затем он добавил, что компания планирует перейти на 2-нм техпроцесс в 2025 году и на 1,4-нм техпроцесс в 2027 году [24]. При этом отделение foundry так же объявило о доступности этих технологий для клиентов [25], за привлечение которых ведется конкурентная борьба с TSMC. Совместно с 2-нм процессом в 2025 году в компании планируют применить технологию подачи питания с обратной стороны чипов, что улучшает общую производительность микросхем (Intel планирует применить аналогичную опцию, PowerVia, в 2024 году). Samsung также планирует увеличить мощности по производству чипов в три раза к 2027 году по сравнению с 2022 годом [25]. В настоящее время компания производит 28-нм чипы eNVM (встроенная энергонезависимая память) для своих автомобильных клиентов, но планирует

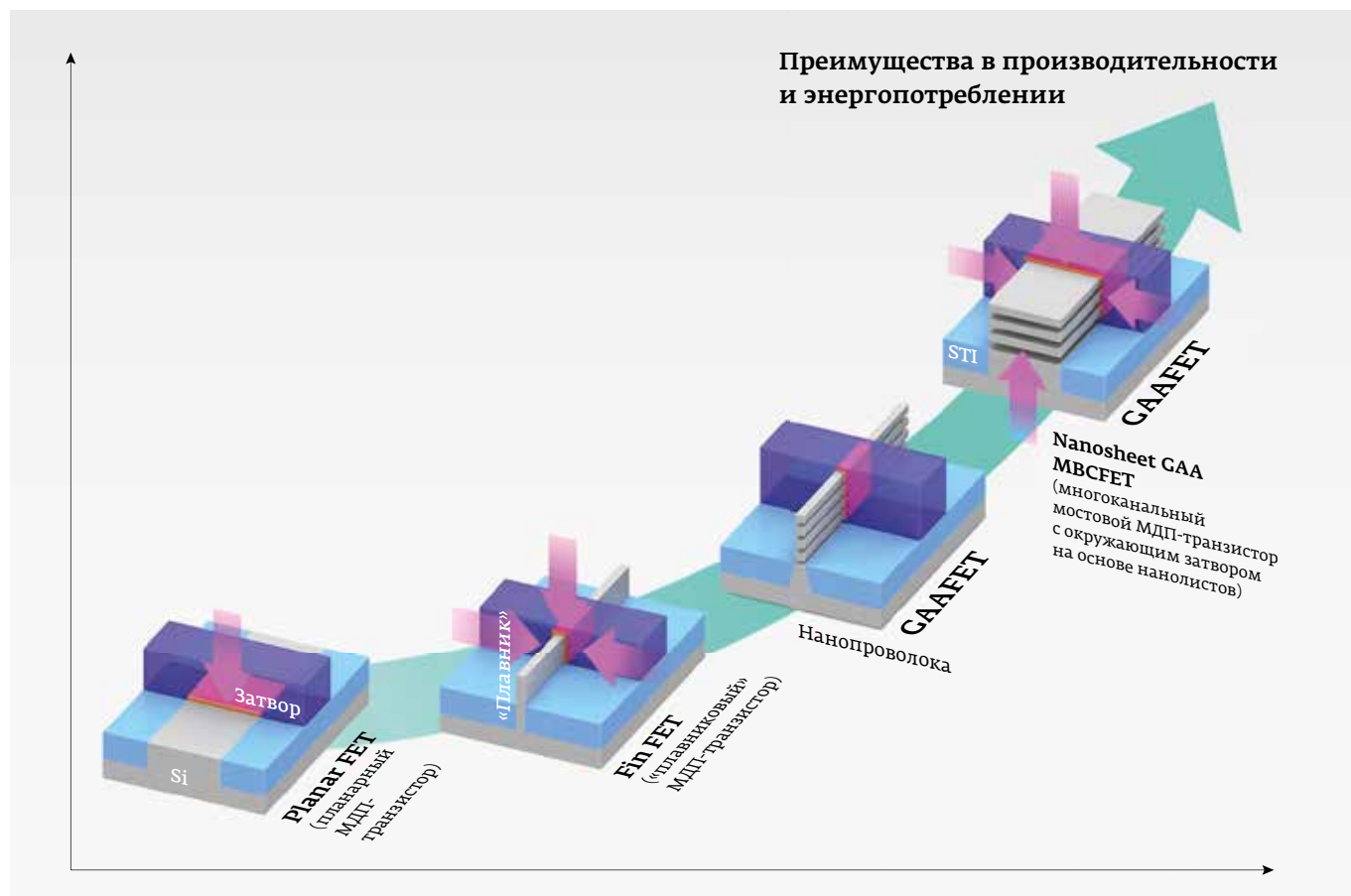


Рис. 1. Эволюция структуры МДП-транзисторов от Samsung

улучшить их с помощью 14-нм решений eNVM в 2024 году и 8-нм решений eNVM в будущем.

Компания также совершенствует технологию гетерогенной интеграции 2.5D / 3D. Технология 3D-корпусирования X-Cube с соединением с микровыпуклостями будет доступна в 2024 году, а X-Cube без выступов – в 2026 году. В области телекоммуникационного сектора производятся схемы по 8-нм технологии и разрабатывается 5-нм технология для РЧ-применений.

Япония

Среди 17 компаний в табл. 1 имеется только одна из Японии – Kioxia (бывшая Toshiba) с объемом выручки 12,1 млрд долл. в 2021 году. Когда-то в середине 80-х годов прошлого века Япония занимала ведущие позиции в мире по объемам производства микроэлектроники, но к настоящему времени уступила эти позиции другим регионам. Объяснения причин этого описаны во многих публикациях [26–28]. Среди множества причин называют и завышенный курс японской иены, и устаревшую, основанную на значительной централизации систему управления отраслью, и отсутствие лидеров как в технике, так и политике, и, естественно, мощнейшее землетрясение и цунами 2011 года, приведшее к остановке многих заводов. Но обратим внимание на новости этого года. Правительство выделяет около 5,2 млрд долл. на поддержку микроэлектроники. Из них 3 млрд – это инвестиции в новый завод в префектуре Кумамото на юго-западе Японии, созданный TSMC. Оставшиеся 2,2 млрд пойдут на создание других новых заводов, причем рассматриваются проекты американского производителя микросхем Micron Technology и японской Kioxia Holdings. Micron Technology (США) приобрела завод Elpida Memory в префектуре Хиросима на западе Японии, где производятся современные чипы динамической памяти с произвольным доступом. Kioxia строит новое здание фабрики, которая начинает работу в 2022 году, а также планировала в 2022 году начать строительство нового здания завода в городе Китаками, префектура Иватэ, который начнет работу уже в 2023 году [28]. Но, вероятно, наиболее интересным событием стало уже упомянутое подписание соглашения с США о создании совместного научно-исследовательского центра для разработки технологий массового производства чипов с использованием техпроцесса 2 нм. Для реализации этого Япония за 0,5 млрд долл. создала новую госкомпанию Rapidus [29]. Таким образом, очевидно стремление правительства вернуть Японии статус одного из мировых лидеров микроэлектроники.

Китай

Краткая история развития микроэлектроники в Китае хорошо представлена в статье М. Макушина, вышедшей в 2017 году [30]. В 2014 году в КНР принята Программа

«Национальная инфраструктура развития промышленности интегральных схем» (National Framework for Development of the Integrated Circuit Industry), основная цель которой – найти наиболее эффективный и понятный путь определения китайской полупроводниковой промышленностью своих перспектив. Для ее реализации были разработаны два руководящих документа: «Рекомендации по развитию национальной полупроводниковой промышленности» и «Сделано Китае – 2025» (MIC-2025). Цель реализуемого плана MIC-2025 – повысить уровень самообеспечения ИС до 40% в 2020 году и до 70% – в 2025-м. План MIC-2025 определяет следующие приоритеты:

- догнать передовой мировой опыт в проектировании ядер ИС и создании инструментальных средств проектирования;
- выйти на передовые рубежи в области многокомпонентных полупроводниковых приборов;
- добиться заключения контрактов с расположенными в КНР производителями электронного оборудования на поставку ИС, спроектированных в КНР (как с отделениями многонациональных (транснациональных) корпораций, так и с китайскими фирмами, такими как Lenovo или Huawei);
- укрепить позиции отечественных фирм по проектированию и производству высокоплотных многокристальных модулей в области технологии 3D-микрокорпусирования.

Действия руководства страны не ограничиваются только созданием программных документов. Из бюджета выделяются значительные средства, главным образом, путем создания фондов развития микроэлектроники, которые уже непосредственно обеспечивают финансирование проектов и мероприятия по укрупнению предприятий. К концу 2014-го – середине 2015 года количество фондов достигло 12 (один – центральный, 11 – местных), общий объем средств которых на конец 2016-го – начало 2017 года составил 442 млрд юаней или более 63 млрд долл. [30].

Познакомимся с «китайскими» новостями 2020–2021 годов. В публикации от 15 сентября 2020 года [31] констатируется, что Китай собирается инвестировать в высокие технологии до 2025 года 1,4 трлн долл. Средства будут предоставляться китайским компаниям-производителям электроники и софта для создания собственных 5G-технологий, умных гаджетов, а также разработки ИИ-продуктов. Главная задача – снизить зависимость электронной отрасли Китая от других стран, преимущественно США. Кроме инвестиций в Китае развернута очень серьезная работа по переманиванию высококвалифицированных специалистов. В основном из TSMC, которым попросту предлагается вдвое более высокая зарплата. Счет уже пошел на вторую сотню сотрудников.

Крупнейшей по объемам производства и обладающей наиболее продвинутыми технологиями компанией Китая является SMIC, пятая в мире по объемам выручки среди компаний контрактного производства (более 3 млрд долл. в 2019 году и 5,44 млрд долл. в 2021 году). Компания взяла на себя обязательства увеличить объемы выпуска продукции в два раза к 2025 году по сравнению с 2021 годом. В Тяньцзине появится новое предприятие SMIC, на строительство которого будет потрачено 7,5 млрд долл. [32]. Как сообщает Nikkei Asian Review, новое предприятие сможет ежемесячно выпускать по 100 тыс. кремниевых пластин типоразмера 300 мм в месяц. В силу санкционных причин, о которых будет сказано ниже, предприятие будет вынуждено специализироваться на техпроцессе 28 нм и более грубых, хотя в Китае уже официально заявлено об освоении технологического уровня 14 нм [33, 34] и об активной разработке техпроцесса уровня 7 нм. Кроме SMIC, объявила о строительстве завода по производству современных чипов известная компания Huawei. Для начала – процессора, который получил название Kirin 9006C. Он выполнен по 5-нм техпроцессу. Это восьмиядерный чип с частотой работы ядра 3,13 ГГц. Строительство завода осуществляется совместно с SMIC.

На фоне инвестиций и широкого фронта развития микроэлектроники не обходится и без провальных проектов. Наиболее яркий пример – создание в 2017 году и банкротство в 2021 году компании HSMC (Hongxin Semiconductor Manufacturing Co.). Проект с заявленной стоимостью 18,5 млрд долл., поддержанный провинцией Хубэй в Центральном Китае, был одним из самых амбициозных в Китае. Менеджеры и акционеры компании (это два человека, которые были неизвестны в микроэлектронных кругах) анонсировали создание самого передового в Китае производства чипов с технологией 14 и 7 нм к 2022 году, утверждая, что имеют много инвесторов. Им даже удалось привлечь в компанию бывшего вице-президента TSMC Чан Шан-и, в качестве генерального директора и генерального менеджера (он ушел в отставку в июне 2020 года, через год после своего назначения). Итог – построено красивое здание, в котором имеется какая-то часть требуемого оборудования. Очень сильно напоминает историю российского проекта «Ангстрем-Т», только в гораздо большем объеме проекта и существенно более быстром бесславном завершении [35, 36]. Кроме HSMC произошло еще два других крупных банкротства полупроводниковых компаний – Tacom Semiconductor Technology Co. Ltd. и Dehuai Semiconductor Technology Co. Ltd [36]. По-видимому, такие провалы – дорогостоящая, но неизбежная ошибка в стремлении Китая к технологической независимости. Совершенно очевидно, что достижения Поднебесной весьма существенны и вызывают серьезнейшую озабоченность США.

Европа

С точки зрения расположения производственных мощностей в Старом свете есть только четыре 300-мм фабрики: завод Intel в Ирландии, завод STM во французском Кролле, завод GlobalFoundries в Дрездене (это та самая фабрика AMD, старое оборудование которой купил «Ангстрем-Т») и завод Infineon тоже в Дрездене. Еще три фабрики в процессе строительства: STM в окрестностях Милана, Bosch в Дрездене, Infineon в австрийском Филлахе и на этом все [1]. С точки зрения нахождения головных офисов в Европе находятся две компании с выручкой более 10 млрд долл. (см. табл. 3). Это ST Microelectronics (12,1 млрд) и NXP (10,7 млрд). Из существенных новостей о намерениях следует отметить подписание договора между STMicroelectronics и GlobalFoundries о строительстве во Франции завода по выпуску чипов на 300-мм подложках FD-SOI [37]. Корпуса завода возведут рядом с действующим предприятием STM в Кролле (Франция). В подписанном компаниями документе нет сумм инвестиций и данных о начале строительства завода. Заявлено только, что предприятие должно войти в строй в 2026 году. При выходе на полную мощность завод каждый месяц сможет обрабатывать 51,6 тыс. 300-мм пластин. Более подробно о технологии FD-SOI на русском языке можно прочитать в [38].

Индия

Как уже было сказано выше, в Индии еще нет полупроводникового производства. По крайней мере скольконибудь значимого. Что явно не соответствует амбициям государства с населением 1,4 млрд человек и развитой отраслью электронного оборудования и разработки программного обеспечения. В конце 2021 года власти объявили о выделении около 10 млрд долл. на стимулирование отрасли, предложив производителям чипов компенсировать до половины стоимости создания производственной базы на территории страны. Проведены переговоры с Intel, TSMC и GlobalFoundries о создании местных производств чипов [39]. Однако эти гиганты пока осторожничали, опасаясь перебоев с подачей электроэнергии в стране и недостаточно развитой инфраструктурой. Но теперь почти 20 лет разговоров о строительстве в Индии полупроводниковых заводов приблизились к этапу практической реализации планов. Участки для строительства нескольких предприятий уже определены, как и оговорены суммы инвестиций по нескольким проектам. В частности, тайваньская компания Foxconn вместе с индийской компанией Vedanta вложат в полупроводниковый завод в Индии 7,58 млрд долл. и еще 11,95 млрд вольют в производство дисплеев. Планы были согласованы только после решения Правительства Индии выделить субсидии на развитие хайтек-производства в стране в размере 30 млрд долл. [40]. Первый завод собираются запустить

уже в 2024 году. На волне объявленных государством мер поддержки объявила о своих пока только намерениях запустить производство микросхем в Индии и другая компания, подразделение Intel – Tower Semiconductor.

США ПРОТИВ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ КИТАЯ

Как известно, торговая война между США и КНР началась в 2018 году по инициативе президента Трампа. Стороны последовательно увеличивали список товаров, облагаемых дополнительными пошлинами. В августе 2019 года США заявили, что с 1 октября товары из Китая на сумму 250 млрд долл., которые в настоящее время облагаются пошлинами в размере 25%, будут облагаться 30%-ми пошлинами. Оставшаяся продукция из КНР на сумму 300 млрд долл., которая облагалась тарифами в 10%, будет облагаться тарифами в 15%. Первой компанией Китая, подвергшейся «нападению» США, стала Huawei. В мае 2019 года британская ARM по указанию властей США приостановила все отношения с Huawei (это ограничило возможности этой компании производить собственные процессоры Kirin). Также наложен запрет американским компаниям на сотрудничество с Huawei. Это Google (отключение обновлений ОС Android, отказ доступа к сервисам Google и магазину приложений Google Play), Intel, Qualcomm и другие американские компании. Следом последовали ограничения уже на крупнейшую микроэлектронную компанию Китая – SMIC:

- давление на ASML в 2018–2019 годах, разрыв контракта на поставку в SMIC установки EUV-фотографии с длиной волны 13,5 нм;
- ограничения на поставку в Китай технологического оборудования, позволяющего реализовать технологию уровня 14 нм и менее;
- ограничения по поставкам САПР (в частности, для проектирования схем с GAA-затворами транзисторов);
- запрет на поставки оборудования для производства NAND флеш-памяти с количеством слоев 128 и более.

Все эти меры по замыслу США должны значительно сдержать развитие микроэлектронной отрасли Китая. В статье Snews от 17 октября 2022 года приведены публикации Bloomberg [44, 45], в которых утверждается, что новые санкции США радикально отразились на китайской IT-сфере. Введены запреты на поставку в КНР оборудования для производства микросхем и использования иностранных чипов в производстве. Это должно ударить по выпуску самой разной техники, включая смартфоны. Тем временем американские поставщики оборудования для выпуска чипов отзывают своих сотрудников под угрозой лишения гражданства США. Очевидно, что все эти ограничения должны существенно отразиться на всей китайской хайтек-отрасли. Но КНР уже давно готовилась к такому сценарию развития событий. Угрожающая

американская риторика на тему доступа к продуктам и технологиям микроэлектроники в Госдепе звучит еще с 2014 года. Так что «время покажет». По прогнозам консалтинговой фирмы International Business Strategies Inc., спрос на зрелые чипы 28 нм вырастет более, чем в три раза, до 28,1 млрд долл. в период до 2030 года. В результате, к 2025 году уже 40% мировых мощностей по производству 28-нм чипов будет сосредоточено в Китае. При этом в 2021 году китайские производители закупили производственное оборудование у Applied Materials Inc., Lam Research Corp. и KLA Corp. на сумму 14,5 млрд долл., что сделало Китай крупнейшим в мире потребителем продукции этих компаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Самые передовые технологии (5 и 4 нм) освоены только в двух компаниях – TSMC и Samsung. При этом последняя объявила о запуске технологии 3 нм в 2022 году. Следует отметить, что уровень технологии 14 нм был освоен всего в шести компаниях, а 10 нм – уже только в трех.

Разработка и производство оборудования для передовых технологий микроэлектроники сосредоточено в очень ограниченном круге компаний США, Японии и Голландии.

Контроль средств проектирования и средств производства позволяет США вводить по своему усмотрению ограничительные меры как против отдельных компаний, так и против стран, которые они считают угрозой своей национальной безопасности, обеспечивая тем самым конкурентные преимущества американским компаниям. Преодоление этих ограничений является для Китая весьма сложной и амбициозной задачей. Как будут развиваться события прогнозировать пока никто не берет. Повторим: «время покажет».

ЛИТЕРАТУРА

1. Кто есть кто в мировой микроэлектронике // <https://habr.com/ru/post/486326/>
2. <https://commarketru.com/kto-est-kto-v-mirovoj-mikroelektronike/>
3. Назван крупнейший производитель полупроводниковой продукции по итогам 2021 года // <https://www.ixbt.com/news/2021/12/23/nazvan-kрупnejshij-proizvoditel-poluprovodnikovoj-produkcii-poitogam-2021-goda.html>
4. SEMI: на полупроводниковое оборудование в 2022 году потратят более \$100 млрд // <https://russianelectronics.ru/2022-06-16-semi/>
5. Детали техпроцесса Intel 4: частота вырастет на 20% и плотность транзисторов будет выше, чем у TSMC // <https://3dnews.ru/1067928/detali-pro-tehprotsess-intel-4-rost-chastoti-na-20-i-plotnost-tranzistorov-vishechem-u-tsms/>

6. Micron начала поставки первых в мире 232-слойных чипов флеш-памяти 3D NAND – 1 Тбит на кристалл // <https://3dnews.ru/1070900/publikatsiya-1070900/>
7. США и Япония хотят наладить производство 2-нм продукции без Тайваня и предотвратить утечки технологий в Китай // <https://www.ixbt.com/news/2022/05/03/ssha-i-japonija-hotjat-naladit-proizvodstvo-2nm-produkcii-bez-tajvanja-i-predotvratit-utechki-tehnologij-v-kitaj.html/>
8. Nikkei: США и Япония договорились создать совместный исследовательский центр по разработке 2-нм чипов // <https://habr.com/ru/news/t/680058/>
9. Полупроводники. Мировой рынок // [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Полупроводники_\(мировой_рынок\)?ysclid=lax2id5snk374157610](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Полупроводники_(мировой_рынок)?ysclid=lax2id5snk374157610)
10. В США запустили крупнейшее в мире производство силовых полупроводников из карбида кремния для электромобилей и не только // <https://3dnews.ru/1064810/v-ssha-zapushchen-krupneyshiy-v-mire-zavod-po-vypusku-silovih-elementov-iz-karbida-kremniya-dlya-elektromobiley-i-ne-tolko>
11. TSMC увеличит производство микросхем по зрелым техпроцессам в полтора раза // <https://3dnews.ru/1068287/tsmc-do-2025-goda-na-50-uvlechit-proizvodstvo-mikroshem-na-baze-zrelih-i-spetsializirovannih-tehprotsessov>
12. TSMC – яркий пример успеха в мире ИТ, проект Госдепа, продукт неотвратимой глобализации? // <https://habr.com/ru/company/ua-hosting/blog/553838/>
13. TSMC опубликовала дорожную карту на 3 года: 2 поколения 4 нм, 4 поколения 3 нм и 2 нм в 2025-м // <https://amd.news/high-tech-news/article/180622-tsmc-roadmap-3nm-2nm-2025/>
14. TSMC в 2024 году получит новое оборудование ASML и через год выйдет на 2 нм // <https://yandex.ru/news/-/bU0e>
15. TSMC построит четыре новых завода для производства 3-нм чипов – каждый обойдется в \$10 млрд // <https://3dnews.ru/1068432/tsmc-postroit-chetire-novih-zavoda-dlya-proizvodstva-3nanometrovih-chipov>
16. TSMC к концу года запустит в Китае новое предприятие по выпуску 28-нм чипов // <https://overclockers.ru/hardnews/show/120729/tsmc-k-koncu-goda-zapustit-v-kitae-novoe-predpriyatie-po-vypusku-28-nm-chipov>
17. К 2026 году TSMC планирует освоить на территории США производство 3-нм чипов // <https://overclockers.ru/hardnews/show/120575/k-2026-godu-tsmc-planiruet-osvoit-na-territorii-ssha-proizvodstvo-3-nm-chipov>
18. TSMC справится с созданием новых предприятий в США и без субсидий, но проблемой станет дефицит кадров // <https://3dnews.ru/1072186/tsmc-spravitsya-so-stroitelstvom-predpriyatiya-v-ssha-i-bez-subsidiy-no-probleмой-stanet-defitsit-kadrov>
19. SK Hynix Gold P31 – первые потребительские SSD на 128-слойной NAND-памяти // https://dzen.ru/media/occlub/sk-hynix-gold-p31-pervye-potrebitelskie-ssd-na-128sloinoi-nandpamiati-5f3f8d0a5ee7964606c9b338?utm_source=dzen_suggest
20. В твердотельном накопителе Platinum P41 используется контроллер собственной разработки SK hynix // <https://www.ixbt.com/news/2022/01/04/platinum-p41-sk-hynix.html>
21. Финансовые показатели Samsung Electronics // https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Финансовые_показатели_Samsung_Electronics
22. Samsung Electronics начала производство 3-нм чипов – раньше всех конкурентов // <https://3dnews.ru/1069163/samsung-electronics-operedila-konkurentov-pristupiv-k-massovomu-proizvodstvu-3nm-komponentov>
23. Samsung притормозила строительство новой фабрики чипов в США // <https://3dnews.ru/1076082/samsung-prishlos-otlogitstroitelstvo-novogo-poluprovodnikovogo-zavoda-v-ssha>
24. Samsung обнародовала план по технологическому процессу 1,4 нм // <https://www.ixbt.com/news/2022/10/04/samsung-1-4.html>
25. Samsung планирует производить полупроводниковые чипы по 1,4 нм к 2027 году // <https://itbusiness.com.ua/hardnews/155319-samsung-planiruet-proizvodit-poluprovodnikovye-chipy-po-1-4-nm-k-2027-godu.html>
26. К вопросу о проблемах японского электронпрома. – Время электроники, 2013 // <https://russianelectronics.ru/k-voprosu-o-problemah-yaponskogo-elektronproma/>
27. Катастрофа в Японии может обрушить мировой рынок микроэлектроники // https://www.cnews.ru/news/top/katastrofa_v_yaponii_mozhet_obrushit
28. Электронная промышленность Японии // https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Электронная_промышленность_Японии
29. Япония и США совместно разработают технологии для массового производства 2-нм чипов // <https://3dnews.ru/1071125/yaponiya-i-ssha-sovmestno-razrabotayut-tehnologii-massovogo-proizvodstva-2nm-chipov>
30. **Макушин М.** Микроэлектроника в Китае: новый этап развития // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. № 7 (00168) 2017. с. 142–150
31. Китай инвестирует \$1,4 трлн долларов и переманивает ключевых инженеров TSMC, стремясь обогнать США в производстве чипов // <https://habr.com/ru/company/selectel/blog/519200/>
32. SMIC потратит \$7,5 млрд на строительство нового предприятия в Тяньцзине //

- <https://3dnews.ru/1073057/smic-potrati-75-mlrd-na-stroitelstvo-novogo-predpriyatiya-v-tyantszine>
33. Импортозамещение по-китайски: Поднебесная начинает выпуск современных 14 нм чипов. Государственная программа работает // <https://habr.com/ru/company/selectel/blog/684094/>
 34. Китай официально подтвердил, что располагает полностью локализованным 14-нм техпроцессом // <https://3dnews.ru/1074304/kitay-ofitsialno-podtverdil-chto-raspologayet-polnostyu-lokalizovannim-14nm-tehprotsessom>
 35. Что нужно знать о провале китайского проекта за 18,5 миллиарда долларов // <https://prc.today/chto-nuzhno-znat-o-provale-kitajskogo-proekta-za-185-milliarda-dollarov>
 36. Поучительная история про китайских производителей микросхем // <https://habr.com/ru/company/vdsina/blog/550854/>
 37. STMicroelectronics и GlobalFoundries подписали договор о строительстве во Франции завода по выпуску чипов на 300-мм подложках FD-SOI // <https://3dnews.ru/1070714/stmicroelectronics-i-globalfoundries-podpisali-dogovor-o-stroitelstve-vo-frantsii-zavoda-po-vipusku-chipov-na-300mm-podlogkah-fdsoi>
 38. **Шелепин Н. А.** Особенности элементной базы СБИС на основе технологии КМОП КНИ с полным обеднением // НАНОИНДУСТРИЯ. 2018. № 9 (82). С. 46–48
 39. Индия ведет переговоры с Intel, TSMC и GlobalFoundries о создании местных производств чипов // <https://3dnews.ru/1064826/indiya-vedyot-peregovori-s-intel-tsmc-i-globalfoundries-ob-otkritii-proizvodstva-v-strane>
 40. Индия получит современное производство полупроводников: за строительство завода взялась Foxconn // <https://3dnews.ru/1074338/perviy-poluprovodnikoviy-zavod-foxconn-v-indii-nachnyot-vipuskat-produktsiyu-v-2024-godu>
 41. США разваливают индустрию электроники в Китае и во всем мире // <https://russianelectronics.ru/2022-10-18-usa/>
 42. Санкции в деле: KLA прекратит поставлять метрологическое оборудование для производства чипов в Китай уже завтра // <https://3dnews.ru/1075573/postavshchik-metrologicheskogo-oborudovaniya-kl-dlya-proizvodstva-chipov-prekratit-snabgat-im-kitajskih-klientov-uge-so-sredi>
 43. США ограничили поставки полупроводников в Китай // <https://www.forbes.ru/tekhnologii/479277-ssa-ogranicili-postavki-poluprovodnikov-v-kitaj>
 44. США разваливают ИТ-индустрию в Китае и во всем мире. Нарушено производство техники, инженеров увольняют // https://www.cnews.ru/news/top/2022-10-17_ssha_postavila_na_koleni_kitajskuyu
 45. Санкционные войны: США оставляют Китай без чипов // <https://expert.ru/expert/2022/42/sanktsionnyye-voyny-ssha-ostavlyayut-kitay-bez-chipov/>



ПЕТЕРБУРГСКАЯ
ТЕХНИЧЕСКАЯ
ЯРМАРКА

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА:

- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОНГРЕСС
- КОНФЕРЕНЦИЯ «КРЕПЕЖ. КАЧЕСТВО И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»
- БИРЖА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ



18–20

АПРЕЛЯ
2023

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»
Петербургское шоссе, 64

+7 965 772 7759 | a.ilina@restec.ru | +7 929 106 2738 | v.zudina@restec.ru | ptfair.ru



ГРУППА КОМПАНИЙ

ЭЛЕКТРОННОЕ СПЕЦИАЛЬНОЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Акционерное общество
«Научно-производственное предприятие
«Электронное специальное
технологическое оборудование»

124460, г. Москва, Зеленоград,
Георгиевский проспект, д.5, стр.1
тел.: (499) 729-7751, факс: (499) 479-1239
info@nppesto.ru www.nppesto.ru

СИСТЕМА GROOVY ICP –
ТЕХНОЛОГИЯ БУДУЩЕГО
Для критического травления
диэлектриков на основе уникального
узкоазорного индуктивного плазменного
реактора для массового производства

МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



Разработка АО «НПП «ЭТО» при финансовой поддержке Министерства промышленности и торговли Российской Федерации ▶

Приглашаем Вас посетить наш стенд №А1045 на выставке **ExpoElectronica 2023**
11–13 апреля 2023 года МВЦ «Крокус Экспо», павильон 3, зал 15



Оборудование рентгеновского контроля



Лазерное оборудование



Оборудование для фотолитографии



Вакуумное оборудование