

# Битва за будущее микроэлектроники

М. Макушин<sup>1</sup>

УДК 621.37 | ВАК 05.27.06

Противоречия США и КНР в сфере микроэлектроники во многом вызваны снижением доли американских фирм в реальном производстве ИС, наметившимся приближением китайских разработок к технологическому уровню американских. Ускоренное создание национальной микроэлектроники КНР в рамках государственных программ с привлечением огромных ресурсов бросает вызов лидерству США. Это порождает попытки как любыми способами остановить развитие китайской микроэлектроники, так и стимулировать развитие собственной.

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ «ХОЛОДНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОЙНЫ» США И КНР В ОБЛАСТИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

История американо-китайских отношений в последние три-четыре года – это история противостояния, которое начиналось как «экономический конфликт» между двумя ведущими экономиками мира, вызванный нарушениями торгового баланса [1]. Но достаточно быстро конфликт превратился в «Технологическую холодную войну» (в еженедельнике *EE Times* даже появилась рубрика *Technology Cold War*). Эту войну можно считать порождением и внутриамериканских, и внешних условий. С одной стороны, попытки возвращения микро- и радиоэлектронных производств в США предпринимались еще при Б. Обаме («Перестроим Америку!» – *Rebuilding America!*). Основание понятно – мощности по производству высокотехнологичной продукции выведены за рубеж или вовсе переданы по аутсорсингу иностранным, прежде всего китайским, фирмам. Так что политика Д. Трампа «Сделаем Америку великой снова» (*Make America Great Again*) родилась не на пустом месте. Надо отметить, что президент Байден в целом одобрил антикитайский курс предшественника, но намерен его откорректировать. С другой стороны, технологическое лидерство производственной базы микроэлектроники США действительно оказалось под вопросом (рис. 1) [2]. Чтобы переломить эту тенденцию, США пытаются как стимулировать создание на своей территории перспективных мощностей по производству ИС, так и всячески затормозить развитие китайского хай-тека.

«Технологическая холодная война» уже дала ряд результатов в самых неожиданных проявлениях (табл. 1). Чего можно ждать дальше?

В связи с этим возникает множество вопросов. Один из них: смогут ли американские поставщики ИС, многие из которых перешли на *fabless*-модель (только

проектирование ИС) и выбрали для производства разработанных ими ИС зарубежную производственную базу, снова вернуться к изготовлению своей продукции на мощностях в США? Нужно ли возвращать все на национальную территорию? Смогут ли принятые законы стимулировать развитие производственной базы микроэлектроники в США? Хватит ли выделенных средств и захотят ли американские корпорации воспользоваться ими? Надежны ли меры подавления китайской микроэлектроники? Что предпринимает и предпримет «Поднебесная» для обеспечения развития своей микроэлектроники? Насколько удачными и эффективными будут эти меры? [1].

## АМЕРИКАНСКАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ Производственная база

Сегодня динамика развития высокотехнологичного сектора демонстрирует некоторые тревожные для США тенденции. Они связаны с процессом утраты лидерства в области производства полупроводниковых приборов. Причем этот процесс идет уже достаточно давно. Более существенно то, что утрачивается лидерство в сфере возможностей предоставления услуг кремниевого завода – эти услуги намного шире и значительнее, чем собственно контрактное производство ИС (помощь заказчику в проектировании ИС, предоставление САПР, библиотек стандартных элементов, платформ и сложнотехнологических блоков и т.д.).

Это сложный вопрос, включающий в себя несколько аспектов. В частности, США начинают отставать в области, где ранее доминировали [3]. Так, корпорация Intel, признанный технологический лидер США, недавно вновь отложила освоение в производстве своего нового 7-нм технологического процесса – сроки его внедрения перенесены на конец 2021 года – начало 2022 года. До этого корпорация несколько лет испытывала трудности с освоением 10-нм процесса [4]. Из-за этого отставание Intel от основных конкурентов – Samsung (Ю. Корея)

<sup>1</sup> ЦНИИ «Электроника», главный специалист, mmackushin@gmail.com.

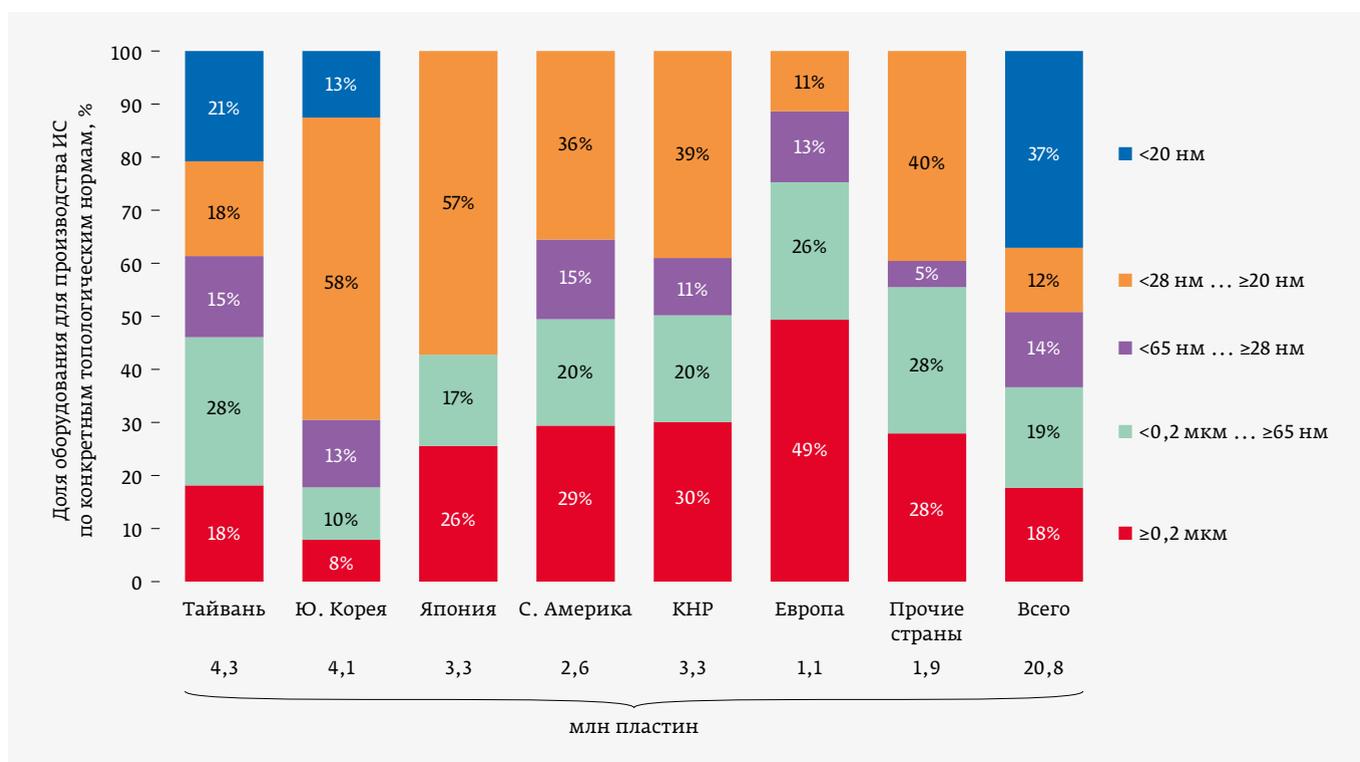
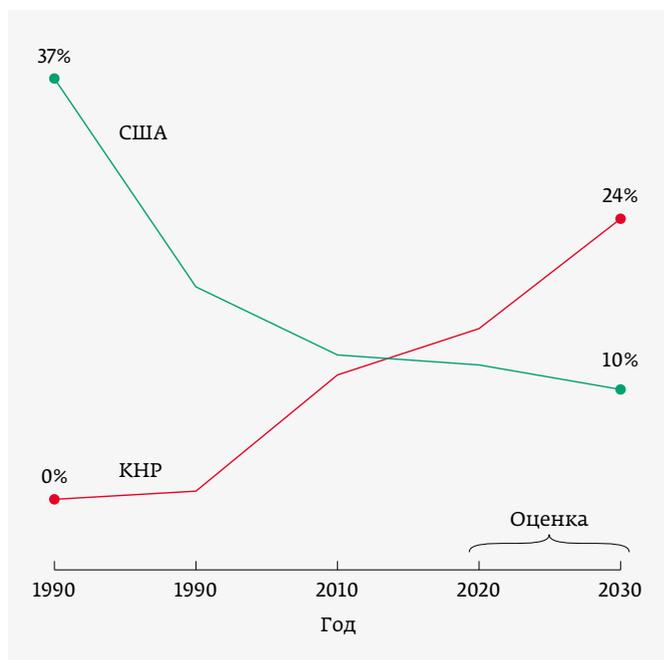


Рис. 1. Географическая структура установленных мощностей по обработке пластин с учетом используемых топологических норм (миллион пластин в месяц, эквивалент 200-мм пластин)

Таблица 1. Некоторые проявления «Технологической холодной войны»

Область проявления	Суть проявления
Глобальная кампания США против Huawei / HiSilicon	Правительства некоторых стран отказываются от 5G-оборудования Huawei под давлением США, несмотря на то, что это ведет к удорожанию и задержкам реализации 5G-проектов
Усиление экспортно-импортного контроля США	Удорожание конечных электронных систем, собираемых из ИС американских фирм, производящихся на территории КНР
Усиление контроля стран Запада над сделками слияния / поглощения высокотехнологичных фирм	<ul style="list-style-type: none"> <li>Китайские антимонопольные регуляторы принимают ответные меры, что затрудняет слияния / поглощения западных компаний (пример – сделка Qualcomm-NXP);</li> <li>фирмы, использующие инвестиции фондов, связанных с китайским правительством, попадают под дополнительные проверки со стороны правительств стран, в которых расположены их штаб-квартиры. Например, корпорации Imagination Technologies пришлось отказаться от добавления в свой наблюдательный совет представителей четырех китайских инвесторов из-за реакции правительства Великобритании – полномасштабного расследования действий Imagination</li> </ul>
Взаимодействие ученых и специалистов	Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE) США ввел запрет на привлечение ученых и специалистов Huawei к редактированию и рецензированию журналов IEEE (действовал несколько дней, но показал возможную интерпретацию действий правительства США американским научным сообществом)
Научный обмен	Ужесточение визовых ограничений в США для китайских ученых, специалистов и студентов



**Рис. 2.** Динамика долей КНР и США в мировом производстве полупроводниковых приборов

и TSMC (Тайвань) – увеличилось. Эти корпорации уже приступили к серийному выпуску 5-нм ИС.

В то же время производители ИС продолжают строить в США заводы по обработке пластин, но темпы их создания отстают от темпов азиатских конкурентов. По данным Ассоциации полупроводниковой промышленности США (SIA) и группы Boston Consulting Group (BCG), доля США в общем парке установленных мощностей по обработке пластин снизилась с 37% в 1990 году до 12% в 2020-м, а в 2023 году этот показатель может снизиться до 10% (рис. 2). Ситуация ухудшается тем, что «Большой Китай», включающий в себя Гонконг, КНР и Тайвань, является горячей геополитической точкой, а торговая война между США и КНР усугубляет напряженность в регионе, где сосредоточена большая часть производственных мощностей полупроводниковой промышленности, выпускающая ИС по наиболее передовым технологическим процессам. Любое нарушение цепочек поставок будет иметь серьезные последствия для доступа США к этим мощностям [3].

### Новые меры стимулирования

В течение 2020 года в Конгрессе США обсуждались два законопроекта – об американских кремниевых заводах (American Foundries Act of 2020) и о создании полезных инициатив по стимулированию разработки и производства полупроводниковых приборов в Америке (Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors for America Act, CHIPS for America Act). Оба были приняты Конгрессом

в начале января 2021 года в рамках утверждения оборонных расходов.

Закон **American Foundries Act of 2020** предусматривает реализацию федеральной программы предоставления грантов в размере 15 млрд долл. для стимулирования создания новых предприятий по производству ИС и реализации программ НИОКР. Законопроект также предусматривает выделение 5 млрд долл. на государственно-частное сотрудничество по строительству или модернизации заводов по обработке пластин для обеспечения потребностей национальной безопасности, разведки и критической инфраструктуры [5].

#### Основные положения закона **CHIPS for America Act**:

- введение 40% возмещаемого инвестиционного налогового кредита (ИТС\*) для аттестованного полупроводникового оборудования (введенного в эксплуатацию) или любых аттестованных инвестиционных расходов на производство полупроводниковых приборов до 2024 года. В дальнейшем ИТС сокращается до 30% в 2025 году, 20% в 2026-м и поэтапно отменяется в 2027 году;
- поручение министру торговли создать федеральную программу согласования и дополнения мер стимулирования штатов и местных властей, предлагаемых фирмам под строительство современного кремниевого завода с передовыми производственными возможностями. Бюджет федеральной программы – 10 млрд долл.;
- создание Национальным институтом стандартов и технологий (NIST) новой программы в области полупроводниковых приборов (NIST Semiconductor Program) для поддержки современной производственной базы на территории США. Фонды программы также будут поддерживать развитие рабочей силы в рамках программы STEM\*\*, кластеризацию экосистем, борьбу за лидерство США в области 5G, корпусирования и тестирования полупроводниковых приборов;
- наделение Министерства обороны правом финансировать исследования, разработки, обучение рабочей силы, испытания и оценку программ, проектов и мероприятий, связанных с полупроводниковыми технологиями, а также руководить реализацией

\* ИТС (investment tax credit) – инвестиционный налоговый кредит, определенная доля инвестиционных расходов в основной капитал, которую компания может вычесть из суммы своих обязательств по уплате налога на прибыль.

\*\* STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) – образовательные программы в области науки, технологии, техники и математики. Реализуются STEM Educational Coalition, неправительственной, неприбыльной организацией, <http://www.stemedcoalition.org/>.

Милые дамы!  
Поздравляем вас  
с праздником весны и красоты  
— **Международным женским днём**

# 8 марта!

От всей души желаем вам улыбок, солнца и хорошего настроения!  
Пусть сбываются все ваши мечты, а жизнь будет полна радости  
и счастливых перемен!

К Б Т Э М  
**ПЛАНАР**



ПРОЕКТИРОВАНИЕ



ГЕНЕРАЦИЯ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ



КОНТРОЛЬ  
ФОТОШАБЛОНОВ



РЕМОНТ  
ФОТОШАБЛОНОВ



ФОТОЛИТОГРАФИЯ



КОНТРОЛЬ  
ПЛАСТИН



СБОРКА ИЗДЕЛИЙ  
МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

## БЕЗМАСОЧНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Многоканальные лазерные генераторы изображений
- Проектная норма 0,35, 0,6  $\mu\text{m}$
- Высокая точность совмещения
- $\varnothing 200, 150, 100$  мм



## ГЕНЕРАТОРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ

- Диапазон UV, DUV
- Проектная норма 90, 130 нм
- 16/32-лучевая архитектура
- Фазосдвигающие шаблоны
- Быстрая переналадка пластина — шаблон



## КОНТРОЛЬ ФОТОШАБЛОНОВ

- Проектная норма 90, 130, 250 нм
- Твердотельный лазер
- Контроль методом D2DB, D2D
- Высокая производительность
- Контроль неплоскостности



## РЕМОНТ ФОТОШАБЛОНОВ

- Фемтосекундный лазер
- 0,15/ 0,3/ 0,5  $\mu\text{m}$  min элемент
- Размер шаблона до 9" x 9"
- Ремонт копированием
- Ремонт через пелликл
- Прозрачные / непрозрачные дефекты



## КОНТАКТНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Ручная и автоматизированная загрузки
- Двусторонняя литография
- Высокая точность совмещения
- Низкий уровень генерации дефектов
- Высокая энергоэффективность



## СТЕПЕРИ

- Проектная норма 0,35, 0,8  $\mu\text{m}$
- Автоматический масштаб
- Двустороннее совмещение
- $\varnothing 200, 150, 100$  мм
- Твердотельный источник света



## КОНТРОЛЬ ТОПОЛОГИИ

- Контроль привносимых дефектов пластин без топологии
- Автоматический микро и макро контроль дефектов пластин с топологией
- Высокая производительность



## АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ

- Контроль микроразмеров
- Контроль неплоскостности
- Контроль координат
- Контроль толщин
- Контроль рассовмещения



## ЗОНДОВЫЙ КОНТРОЛЬ

- $\varnothing 200, 150, 100$  мм
- $\pm 4$  мкм погрешность контактирования
- Ручное / полуавтоматическое / автоматическое оборудование



## РАЗДЕЛЕНИЕ ПЛАСТИН И ПОДЛОЖЕК

- $\varnothing 300, 200, 150, 100$  мм
- 2 независимые зоны разделения в одной установке
- 2,4 кВт мощность электрошпинделя
- Полуавтоматическое / автоматическое оборудование



*Создаем традиции будущего!*



- Единое таможенное пространство
- 59 лет опыта в разработке и производстве прецизионного оптико-механического и сборочного оборудования
- Высокий уровень применяемых технологий и современного оборудования
- Полный цикл разработки и производства, высококвалифицированный персонал
- Высокое качество изделий подтверждено национальными и международными стандартами
- Возможность комплексной поставки оборудования, адаптированного для Российского рынка, программного обеспечения для поддержки процессов изготовления фотошаблонов и 3D-моделирования для фотолитографии компании GeniSys (Германия)

Республика Беларусь  
220033, г. Минск  
Партизанский пр-т, 2

тел: (+375 17) 226 09 82  
(+375 17) 223 22 26  
факс: (+375 17) 226 12 05

office@kbtem-omo.by  
kbtem.omo@gmail.com  
www.planar.by



плана использования финансирования, предусмотренного разделом III закона «Об оборонной промышленности» для создания и укрепления потенциала отечественного производства полупроводниковых приборов;

- учреждение целевого (доверительного) фонда в размере 750 млн долл. на десять лет, средства из которого начнут выделяться после достижения соглашения с иностранными правительствами-партнерами об участии в консорциуме, создаваемом в целях содействия проведению последовательной политики, связанной с микроэлектроникой, большей прозрачности в цепочках поставок микроэлектроники и большей согласованности политики в отношении стран с плановой экономикой. Для стимулирования многостороннего участия создается общий механизм финансирования для использования этого фонда в целях поддержки развития безопасных изделий микроэлектроники и безопасных цепочек их поставок. Отчет Конгрессу предоставляется за каждый год осуществления финансирования;
- поручение президенту создать в составе Национального совета по науке и технике (National Science and Technology Council, NSTC) подкомитет по обеспечению лидерства в области полупроводниковых приборов (Subcommittee on Semiconductor Leadership), ответственный за разработку национальной стратегии исследований в этой сфере. Цель – поддержание ведущих позиций США в области полупроводниковых технологий и инноваций, что имеет решающее значение для роста американской экономики и вопросов национальной безопасности, а также для координации НИОКР по полупроводниковым приборам;
- создание новых потоков финансирования НИОКР для сохранения лидерства США в области полупроводниковых технологий и инноваций, имеющих

решающее значение для экономического роста США и обеспечения национальной безопасности (табл. 2).

Цель последнего пункта в табл. 2 – упрочение лидерства США в области перспективных технологий корпусирования изделий микроэлектроники и, в координации с частным сектором, содействие разработке стандартов, стимулирование практики частно-государственных партнерств, создание программ НИОКР по перспективным технологиям, создание инвестиционного фонда (500 млн долл.) для поддержки отечественной экосистемы современных методов корпусирования изделий микроэлектроники, а также работы с Министром труда по созданию программ обучения рабочей силы и стажировок в области передовых возможностей корпусирования изделий микроэлектроники [6, 7].

### Оценка эффективности новых мер стимулирования

В сентябре 2020 года SIA и VCG опубликовали исследование, анализирующее влияние предлагаемых федеральных стимулов для развития производства полупроводниковых приборов в США. В докладе «Государственное стимулирование и конкурентоспособность США в области производства полупроводниковых приборов» (Government Incentives and U. S. Competitiveness in Semiconductor Manufacturing) отмечается, что надежные федеральные меры стимулирования могут изменить многолетнюю тенденцию снижения производства ИС в Америке и будут способствовать созданию 19 новых крупных предприятий по производству полупроводниковых приборов (+70 тыс. высокооплачиваемых рабочих мест) в стране в течение следующих 10 лет (табл. 3). В то же время указывается, что для реализации целей может понадобиться не 20, а 50 млрд долл., но и эта цифра, по мнению ряда экспертов, недостаточна.

**Таблица 2.** Потоки финансирования НИОКР в соответствии с программой CHIPS for America Act

Реализуемая программа / проект	Объем финансирования
Инициатива по возрождению электроники (Electronics Resurgence Initiative) Управления перспективного планирования оборонных научно-исследовательских работ (DARPA) МО США	2 млрд долл.
Программы фундаментальных исследований в области полупроводниковых приборов Национального научного фонда (NSF)	3 млрд долл.
Программы фундаментальных исследований в области полупроводниковых приборов Министерства энергетики	2 млрд долл.
Создание Национального института перспективных производственных методов корпусирования (Advanced Packaging National Manufacturing Institute) при Министерстве торговли	5 млрд долл.



## КОМПЛЕКСНЫЕ ПОСТАВКИ ЭКБ

**ВСЯ ПОСТАВЛЯЕМАЯ  
ПРОДУКЦИЯ ПРОХОДИТ  
«ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ»  
И «ИДЕНТИФИКАЦИЮ»**

АО «ТЕСТПРИБОР» осуществляет комплексные поставки электронных компонентов отечественного и иностранного производства для различного применения классов:

- Industrial,
- Military,
- Space



### ПРОГРАММА ПОСТАВОК

- Микросхемы
- ПЛИС
- СБИС
- Источники питания
- Преобразователи
- Конденсаторы
- Резисторы
- Транзисторы
- Диоды
- Реле
- Переключатели
- Разъемы
- Фильтры
- Атенюаторы
- Ответвители

Комментируя исследование SIA и BCG, отраслевые специалисты отметили, что федеральные меры стимулирования производства полупроводниковых приборов в США – это инвестиции в экономическую мощь Америки, национальную безопасность, надежность цепочки поставок и борьбу с пандемией. С их помощью правительство США может помочь не только переломить многолетнюю тенденцию снижения доли США в мировом производстве ИС (которая сейчас составляет всего 12%), но и сделать Америку одним из самых привлекательных мест в мире для производства полупроводниковых приборов [8].

### КНР: ОБЛАСТЬ РЕШЕНИЙ – ОТ «ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВОДА» ДО ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ГЛОБАЛИЗАЦИИ

Начиная с «Политики четырех модернизаций» (1979–2000 гг.) КНР стремилась, в том числе, создать национальную базу высокотехнологичных отраслей промышленности, включая радиоэлектронный комплекс. В период с 1991 по 2014 год на его развитие было затрачено, по разным оценкам, от 20 до 50 млрд долл. Но производство радиоэлектроники носило выраженный экспортный характер и зависело от импорта ИС. После мирового экономического кризиса 2008–2009 годов, начавшегося как «Азиатский финансовый кризис», Китаю удалось существенно снизить экспортный характер

электроники за счет развития внутреннего рынка и спроса быстро растущего среднего класса (~300 млн чел. к началу 2020 года).

Руководство КНР давно стремится преодолеть зависимость страны и ее радиоэлектронного комплекса от импорта ИС. Для этого на основе изучения опыта других стран в КНР к 2014 году была сформирована программа «Национальная рамочная программа развития промышленности ИС» (国家集成电路产业发展框架), основная цель которой – найти наиболее эффективный и понятный путь определения китайской полупроводниковой промышленностью своих перспектив. Затем были разработаны и утверждены Государственным Советом КНР еще два документа: «Рекомендации по развитию национальной полупроводниковой промышленности (国家半导体产业发展指南) в июне 2014 года и программа «Сделано в Китае – 2025» (中国制造-2025) в мае 2015 года. Последний документ в отношении микроэлектроники ставит задачу достижения доли произведенных в стране ИС в общем объеме местного рынка до 40% в 2020 году и 70% в 2025-м. В целом данная программа охватывает 10 стратегических направлений, при этом собственно микроэлектроника является составной частью направления «Информационные технологии» [9–11].

Итак, с чем подошла КНР к «Холодной технологической войне» и каковы ее дальнейшие намерения?

**Таблица 3.** Потенциальное воздействие новых государственных мер стимулирования на производственную базу микроэлектроники США. *Источник: VLSI Research, SEMI, Boston Consulting Group*

Тенденции периода 2010–2020 годов	Фактические показатели 2010–2020 годов	Прогноз на период 2020–2030 годов		
		Статус-кво	Сценарии новых мер стимулирования	
			программа на 20 млрд долл.	программа на 50 млрд долл.
Доля США в мировой производственной базе, % <sup>1</sup>	10	6 ↓	14 ↑	24 ↑
Без учета КНР, %	12	12	24	41
Место США в мировом рейтинге по доле новых мощностей <sup>2</sup>	5	5 ≈	3 ↑	2 ↑
Без учета КНР	4	4	2	1
Число новых заводов по обработке пластин, построенных в США <sup>3</sup>	9	9 ≈	14 ↑	19 ↑

Обозначения: ↓ – снижение; ≈ – сохранение примерно того же уровня; ↑ – увеличение.

Примечания:

<sup>1</sup> С учетом приращения мощностей в следующие 10 лет.

<sup>2</sup> Новые мощности, требующиеся промышленности для удовлетворения ожидаемого спроса.

<sup>3</sup> Нормализованное значение, определенное исходя из мощности обработки пластин около 75,0 тыс. шт. в месяц (для периода 2020–2030 гг.). Фактическое число построенных в США заводов по обработке пластин в 2010–2020 годах – 19 (исключая экспериментальные и очень маленькие). Средняя мощность обработки – 40 тыс. пластин в месяц.

### Современное состояние микроэлектроники КНР

Перед тем, как перейти к микроэлектронике, рассмотрим уровень развития информационных технологий «Поднебесной».

По оценкам китайских экспертов, в настоящее время лидирующие позиции в области индустрии информационных технологий делят между собой КНР и США. У обеих стран уровень развития выше среднего фиксируется по шести основным позициям из восьми. При этом, если США явно опережают КНР в области разработок квантовых линий связи и ИС (а также полупроводниковых приборов в целом), то КНР вырвалась вперед в области сетевой инфраструктуры мобильных средств связи и в сфере квантовых вычислений (табл. 4).

Особо отмечается, что наибольшие успехи в деле развития IT-индустрии в КНР были достигнуты за последние 20 лет – после 2000 года [12].

Возвращаясь к микроэлектронике, надо отметить, что КНР по парку установленного полупроводникового оборудования в 2019 году увеличила отрыв от США (рис. 3). Два года спустя Китай приблизится к позициям Ю. Кореи. Предполагается, что темпы прироста установленных мощностей в КНР в период 2019–2024 годов будут самыми высокими. Это связано с ожидаемым введением в строй местных заводов по производству ДОЗУ и флеш-памяти NAND-типа (находятся в процессе сооружения), других полупроводниковых приборов, а также развертывания мощностей иностранных фирм. Кстати, под понятием «Прочие страны мира» в основном подразумеваются

Страна / регион	Установленные мощности, млн пластин / месяц	Доля в мировом парке, %
Тайвань	4,208	21,6
Ю. Корея	4,079	20,9
Япония	3,114	16,0
КНР	2,709	13,9
С. Америка	2,492	12,8
ЕС	1,140	5,8
Прочие страны	1,765	9,0
Всего	19,507	100

Рис. 3. Географическая структура установленных мощностей по состоянию на декабрь 2019 года

Сингапур, Израиль и Малайзия, но сюда также включены данные по таким странам / регионам, как Россия, Беларусь и Австралия [13].

Наилучшим освоенным производственным процессом в КНР является N+1, улучшенная версия 14-нм FinFET-процесса SMIC (крупнейший и наиболее современный кремниевый завод КНР), которая по ряду параметров может конкурировать с 7-нм процессами зарубежных фирм. По сравнению с существующим 14-нм процессом SMIC

Таблица 4. Сопоставление уровня разработок ведущих стран в области информационных технологий

Страна/ регион	Средства подключения к [стационарному] Интернету	Средства мобильной связи		Средства мобильного Интернета	Искусственный интеллект	Автономные транспортные средства	Квантовая технология		Интегральные схемы
		оконечные приборы	сетевая инфраструктура				квантовые вычисления	квантовые линии связи	
КНР	Выше среднего	Выше среднего	Выше среднего	Выше среднего	Выше среднего	Выше среднего	Выше среднего	Средний уровень	Средний уровень
США	Выше среднего	Выше среднего	Средний уровень	Выше среднего	Выше среднего	Выше среднего	Средний уровень	Выше среднего	Выше среднего
ЕС	Отставание	Отставание	Выше среднего	Средний уровень	Отставание	Средний уровень	Средний уровень	Отставание	Выше среднего
Япония	Отставание	Средний уровень	Средний уровень	Средний уровень	Отставание	Отставание	Отставание	Отставание	Выше среднего
Ю. Корея	Отставание	Выше среднего	Средний уровень	Отставание	Отставание	Отставание	Отставание	Отставание	Выше среднего
Индия	Отставание	Средний уровень	Отставание	Отставание	Отставание	Отставание	Отставание	Отставание	Отставание

**Таблица 5.** Улучшение параметров 14-нм FinFET-процесса SMIC

Показатель	Улучшение параметров процесса N+1 по сравнению с базовым процессом, %
Увеличение производительности	20
Снижение энергопотребления	57
Сокращение площади SoC, занимаемой логическими элементами	63
Сокращение общей площади SoC	55

характеристики «систем-на-кристалле» (SoC), реализованных по процессу N+1, существенно улучшены (табл. 5). По утверждениям специалистов SMIC процесс N+1 с точки зрения потребляемой мощности и стабильности сравним с 7-нм ИС, выпущенными на рынок корпорациями Samsung (Ю. Корея) и TSMC (Тайвань) [14].

Этим технологические возможности китайских фирм не ограничены – фирма HiSilicon («дочка» Huawei) способна проектировать 5-нм ИС [15], а ряд других фирм – ИС с проектными нормами 7 нм [16]. Но возможности производства 5-нм ИС HiSilicon на мощностях TSMC заблокированы США.

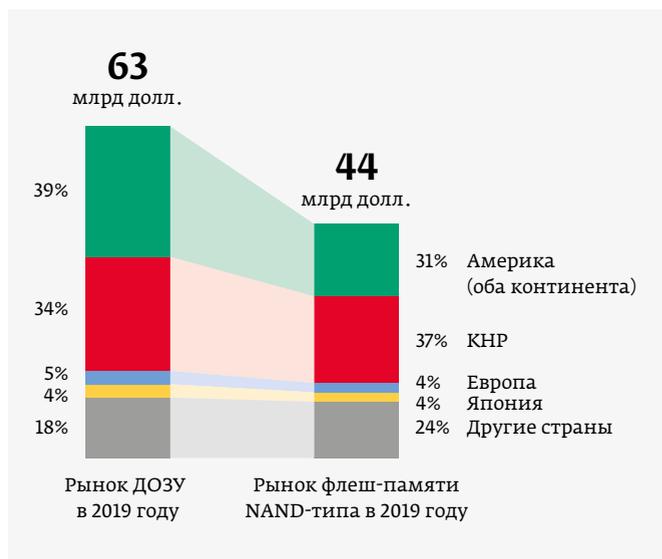
Отмечается, что КНР стала одним из основных рынков схем памяти – благодаря высокому спросу со стороны производителей мобильной электроники (включая смартфоны), ПК, серверов и твердотельных накопителей (SSD), транспортных средств. Ожидается, что в обозримом будущем такая ситуация сохранится. В настоящее

время на рынке КНР потребляется 1/3 всех производимых ИС как ДОЗУ, так и флеш-памяти NAND-типа (рис. 4). При этом китайские игроки начинают угрожать равновесию рынка схем памяти и могут спровоцировать глубокие изменения его структуры. Наиболее вероятным кандидатом на достижение успехов рассматривается корпорация YMTC – благодаря значительной поддержке со стороны государственных инвестиционных фондов и рывку в области НИОКР и производственных мощностей. По оценкам фирмы Yole Développement (Лион, Франция), YMTC может в 2021 году претендовать на 4% мирового рынка флеш-памяти NAND-типа. Китайским производителям ДОЗУ для достижения сопоставимых результатов требуется больше времени. Наконец, в КНР осуществляются мероприятия по коммерциализации новых технологий энергонезависимой памяти (NVM). К ним относятся магнитная память на эффекте переключения спинового момента электрона (STT-MRAM), память на эффекте изменения фазового состояния (PCM) и резистивные ОЗУ (ReRAM) [17].

**Реализуем ли план «Сделано в Китае – 2025»?**

На реализацию планов КНР по развитию национальной микроэлектроники, в том числе плана «Сделано в Китае – 2025», серьезное воздействие оказывает противодействие США. Результаты уже проявляются. Так, по данным исследовательской корпорации IC Insights (Скоттсдэйл, штат Аризона), производство ИС в КНР по итогам 2019 года составило 15,7% по сравнению с общим объемом рынка ИС страны в этом же году (125 млрд долл.). В 2014 году эта доля составляла 15,1%, а в 2024 году достигнет, по прогнозам, 20,7% (рис. 5). Соответственно, намеченные для китайской микроэлектроники рубежи по доле внутреннего рынка в 2021 году (и, возможно, в 2025 году) достигнуты не будут [18, 19].

В то же время некоторые азиатские и европейские аналитики более оптимистичны. Так, специалисты Yole Développement (Лион, Франция) считают, что в ближайшие несколько лет КНР продемонстрирует значительные темпы развития микроэлектроники, даже если план «Сделано в Китае – 2025» провалится. В течение следующего десятилетия «Поднебесная» во все возрастающей мере будет способна конкурировать в области полупроводниковой промышленности с США, ЕС, Японией, Ю. Кореей и Тайванем. Политическое и экономическое давление США в конечном итоге окажут на китайскую микроэлектронику благотворное воздействие. Ограничения ускорили наращивание внутренних инвестиций в формирование и совершенствование полупроводниковой цепочки поставок. Это рано или поздно обеспечит появление национальной отрасли, отличающейся крупными размерами, самодостаточностью и устойчивостью [20].



**Рис. 4.** Географическая структура рынка ДОЗУ и флеш-памяти NAND-типа в 2019 году



## ИНТЕЛЛЕКТ. КАЧЕСТВО.

АО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»  
Москва, Щелковское шоссе, д.5, стр.1  
Тел. (499) 644-21-03, (499) 644-25-62  
(многоканальный)  
Факс +7(499) 644-19-70  
E-mail: [mwsystems@mwsystems.ru](mailto:mwsystems@mwsystems.ru)  
[www.mwsystems.ru](http://www.mwsystems.ru)

- СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ТЕХНОЛОГИИ
- ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ЦЕНА/КАЧЕСТВО
- ПОЛНЫЙ СПЕКТР УСЛУГ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРОИЗВОДСТВУ МОНОЛИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ, МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЧ-УСТРОЙСТВ И БЛОКОВ РЭА (0,3 - 22 ГГц)

## АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»

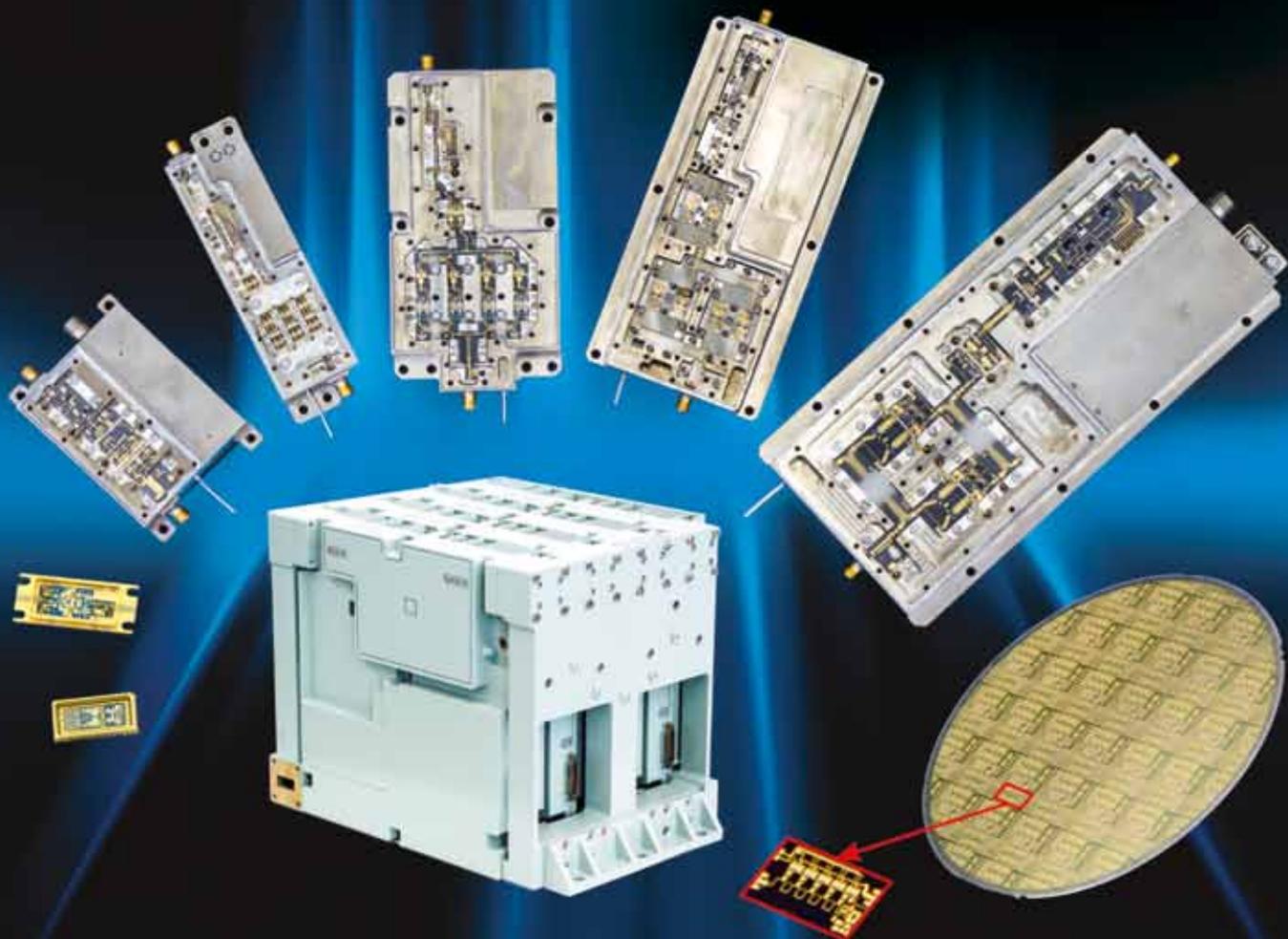




Рис. 5. Динамика продаж и производства ИС в КНР

**«Технологический развод» или интернационализация?**

КНР готовится к наихудшему сценарию: «отрыву» своего технологического развития от других регионов в результате санкций. Некоторые китайские экономисты отмечают, что глобализация носит экономический, а не политический характер. Проблема глобализации должна быть возвращена в сферу основных понятий экономики. Современная «конкуренция» между КНР и США может оказать очень большое отрицательное воздействие на мировую полупроводниковую промышленность. По мере

эскалации американско-китайских противоречий в КНР модным понятием стало «внутреннее замещение» (аналогично «импортозамещению» в России), которое может способствовать дальнейшему развитию полупроводниковой промышленности Китая. Однако эти же китайские экономисты указывают, что представителям отечественной микроэлектроники не следует делать чрезмерный упор на «внутреннее замещение». Необходимо отметить, что в ответ на американские ограничения китайские власти принимают меры реагирования (табл. 6) [21].

Одновременно отмечается, что на внутреннем рынке китайские поставщики занимают более 50% по таким позициям, как гелиотехника, высокоскоростные железные дороги, цифровые платежи, смартфоны, облачные сервисы, роботы и т.д. Но на внешних рынках их доля рынка, за исключением фотоэлектрических панелей и смартфонов, очень низка.

Соответственно необходимо продолжать развивать высокие технологии, выходить на глобальный уровень и захватывать мировой рынок. Если отказаться от внешнего рынка, как развиваться? Таким образом, интернационализация – это непреходящая задача и общее направление дальнейшего развития КНР [12].

Таблица 6. Меры реагирования китайских властей на американские ограничения

Мера реагирования	Содержание
Финансирование	<ul style="list-style-type: none"> <li>Выделение в ближайшие 10 лет на развитие информационных технологий около 1,4 трлн долл.;</li> <li>увеличение финансирования НИОКР в области микро- и радиоэлектроники</li> </ul>
Модернизация инфраструктуры	<ul style="list-style-type: none"> <li>Модернизация инфраструктуры национальной экономики на основе 5G-технологий в ближайшие 5–10 лет;</li> <li>развитие 6G-технологий</li> </ul>
Оборудование	<ul style="list-style-type: none"> <li>Разработка и совершенствование технологического оборудования обработки пластин различного диаметра (оптическая литография);</li> <li>перспективные разработки и исследования в области оборудования EUV-литографии (ближайшие 10 лет);</li> <li>работы в области оборудования сборки, корпусирования и тестирования. Освоение технологий 2,5D- и 3D-интеграции</li> </ul>
«Внутреннее замещение» и локализация	<ul style="list-style-type: none"> <li>Повышение внимания к вопросам импортозамещения и увеличения расходов на них. Условие – предотвращение падения качества/увеличения цены замещающего товара;</li> <li>поощрение локализации производства автомобильной электроники при разворачивании производства транспортных средств транснациональными корпорациями</li> </ul>

## САНКЦИИ – ПАЛКА О ДВУХ КОНЦАХ

Согласно данным SIA, стоимость ИС, проданных американскими полупроводниковыми компаниями в КНР в 2018 году, превысила 100 млрд долл., что составило половину выручки многих американских компаний. Очевидно, что в случае понижения уровня технологических связей они от этого не выиграют. В то же время это сильно повлияет на лидерство США в области полупроводниковых приборов. Результаты исследования VCG в 2018 году, когда США не ограничивали доступ китайских фирм к своим технологиям, показывают, что доля американских полупроводниковых компаний на мировом рынке составляла 48%, а выручка достигала 226 млрд долл. Инвестиции в НИОКР составляли 40 млрд долл. (табл. 7).

Сейчас же, в результате только реализации плана «Сделано в Китае – 2025», КНР сможет отказаться от 15–40% поставок американских ИС. Если же технологические связи между КНР и США будут разорваны полностью, доходы

от продаж американских фирм сократятся до 143 млрд долл., инвестиции в НИОКР – до 16–28 млрд долл., доля рынка уменьшится до 30%. Лидирующие позиции американских поставщиков полупроводниковых приборов будут значительно ослаблены. Возможно, тогда их обгонят южнокорейские конкуренты, а в перспективе их могут догнать и китайцы [12].

\*\*\*

Цель США вполне очевидна – сохранение технологического лидерства как основы мирового доминирования, с которым они не желают расставаться. В этом направлении политика Трампа пересматриваться не будет – она будет ужесточаться, к антикитайским мерам будут шире привлекаться союзники и зависимые от США страны. Планируемые инвестиции в производственные мощности микроэлектроники могут привести к укреплению позиций США.

**Таблица 7.** Влияние американо-китайских технологических связей на лидерство США в области полупроводниковых приборов. *Источник: Анализ Boston Consulting Group, данные корпорации Gartner, отчетность компаний*

Воздействие на доходы США от китайских заказчиков <sup>1</sup> , %	Базовый уровень 2018 года	Только план «Сделано в Китае – 2025»	Ограничение доступа КНР к технологиям США	
			сценарий 1: сохранение статус-кво	сценарий 2: сокращение технологических связей
		От –15 до –40 (замещение американских поставщиков китайскими везде, где возможно)	–55 (упреждающая диверсификация базы поставщиков китайскими OEM)	–100 (полный уход с китайского рынка)
Временные рамки	–	Постепенно в течение 5 лет	Наибольшее воздействие в ближайшие 2–3 года	Сразу же после введения запрета
Доля США на мировом рынке, %	48	43–46	40	30
Воздействие по отношению к базовому уровню 2018 года		От –2 до –5	–8	–18
Мировые доходы США, млрд долл.	226	205–220	190	143
Воздействие по отношению к базовому уровню 2018 года		От –3 до –9	–16	–37
Инвестиции в НИОКР в США, млрд долл. <sup>2</sup>	40	36–39	30–35	16–28
Воздействие по отношению к базовому уровню 2018 года		От –2 до –10	От –13 до –25	От –30 до –60
Лидер мирового рынка	США	США	США	Ю. Корея, КНР

<sup>1</sup> «Доходы США от китайских заказчиков» определяются как продажи китайским производителям приборов. Не учитываются продукты, поставленные для приборов, изготовленных не китайскими компаниями (филиалами иностранных фирм).

<sup>2</sup> Сумма отчислений на НИОКР 20-ти ведущих американских полупроводниковых фирм (~90% отчислений на НИОКР всей полупроводниковой промышленности США).

Китайские аналитики считают, что необходимо готовиться к худшему варианту – когда развитие высоких технологий в «Поднебесной» в результате действий США и их спутников будет отделено от развития хай-тека в других регионах. Существует значительная вероятность того, что две системы – американская и китайская – будут развиваться в нашем мире параллельно. То есть КНР и США могут быть будут развивать собственные самодостаточные высокотехнологичные экосистемы. Правда, при этом Китаю больше нравится «экономическая глобализация», обеспечивающая его устойчивое развитие...

Последнее. То, что КНР не собирается быть просто «мировым заводом», очевидно. Она не менее США желает стать центром разработки передовых технологий. Вероятно, за программой «Сделано в Китае – 2025» последует программа «Изобретено в Китае 20xx».

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Yoshida J.** US vs. China: How Did We Even Get Here? EE Times, 07.28.2020. <https://www.eetimes.com/us-vs-china-how-did-we-even-get-here/>
2. Global Wafer Capacity 2020–2024. IC Insights, December 19, 2019 <http://www.icinsights.com/services/global-wafer-capacity/>
3. **LaPedus M., Mutschler Ann Steffora.** Regaining The Edge In U.S. // Chip Manufacturing, Semiconductor Engineering. October 26<sup>th</sup>. 2020. <https://www.i-micronews.com/fabs-never-die-atreg-helps-fabs-stay-immortal-an-interview-by-yole-developpement/https://semiengineering.com/can-the-u-s-regain-its-edge-in-chip-manufacturing/>
4. **Gartenberg C.** Intel's next-gen 7nm chips are delayed until at least 2022 // The Verge. Jul 23. 2020. <https://www.theverge.com/circuitbreaker/2020/7/23/21336356/intel-7nm-chips-next-gen-delay-q2-2020-earnings-amd-10nm-tiger-lake-desktop-laptop-cpu>
5. American Foundries Act Would Provide Needed Investments in U.S. // Semiconductor Manufacturing, Research. Semiconductor Digest. June 26. 2020. <https://www.semiconductor-digest.com/2020/06/26/american-foundries-act-would-provide-needed-investments-in-u-s-semiconductor-manufacturing-research/>
6. SEMI Announces Support of CHIPS for America Act to Increase Semiconductor Manufacturing in the U.S. // Semiconductor Engineering. June 12. 2020. <https://www.semiconductor-digest.com/2020/06/12/semi-announces-support-of-chips-for-america-act-to-increase-semiconductor-manufacturing-in-the-u-s/>
7. Bipartisan, Bicameral Bill Will Help Bring Production of Semiconductors, Critical to National Security, Back to U.S. // Semiconductor International. June 16. 2020. <https://www.semiconductor-digest.com/2020/06/15/bipartisan-bicameral-bill-will-help-bring-production-of-semiconductors-critical-to-national-security-back-to-u-s/>
8. Semiconductor Manufacturing in the U.S. // Semiconductor Digest. December 17, 2020. <https://www.semiconductor-digest.com/2020/12/17/semiconductor-manufacturing-in-the-u-s/>
9. **Макушин М.** Микроэлектроника в Китае: новый этап развития // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2017. № 7(00168). С. 142–150.
10. **Макушин М.** КНР: новый этап развития микроэлектроники Часть 2. Производственная база и зарубежная активность // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2017. № 8(00169). С. 142–151.
11. **Макушин М., Фомина А.** Экономические аспекты развития микроэлектроники КНР. ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2019. № 2(00183). С. 158–168.
12. **Guan A.** 6 Points to Consider Before Betting the Farm on „All Made in China” // EE Times China. 11. 15. 2020. [https://www.eetimes.com/6-points-to-consider-before-bet-the-farm-on-all-made-in-china/?utm\\_source=newsletter&utm\\_campaign=link&utm\\_medium=EETimesDaily-20201116&oly\\_enc\\_id=5245B7817912J8Z#](https://www.eetimes.com/6-points-to-consider-before-bet-the-farm-on-all-made-in-china/?utm_source=newsletter&utm_campaign=link&utm_medium=EETimesDaily-20201116&oly_enc_id=5245B7817912J8Z#)
13. Taiwan Edges South Korea as Largest Base for IC Wafer Capacity. Semiconductor Digest. June 29. 2020. <https://www.semiconductor-digest.com/2020/06/29/taiwan-edges-south-korea-as-largest-base-for-ic-wafer-capacity/>
14. 中芯国际今年出产7nm? 你们误会了梁孟松博士 <https://www.eet-china.com/news/202003131444.html>
15. **Manners D.** 2020 foundry revenue up 23.7% on 2019 // Electronics News, 29th December 2020. <https://www.electronicweekly.com/uncategorised/2020-foundry-revenue-23-7-2019-2020-12/>
16. **Kang T.** Cambricon's first AI training chip starts mass production with TSMC's 7nm process // CN TechPost. January 21. 2021. By: <https://cntechpost.com/2021/01/21/cambricons-first-ai-training-chip-starts-mass-production-with-tsmcs-7nm-process/>
17. **Bertolazzi S.** Amid COVID-19 and Trade War, China Continues to Advance Its Semiconductor Memory Industry // Semiconductor Digest. November 23. 2020. <https://www.semiconductor-digest.com/2020/11/23/amid-covid-19-and-trade-war-china-continues-to-advance-its-semiconductor-memory-industry/>
18. China to Fall Far Short of its “Made-in-China 2025” Goal for IC Devices // IC Insights. May 21. 2020. <https://www.icinsights.com/news/bulletins/China-To-Fall-Far-Short-Of-Its-MadeinChina-2025-Goal-For-IC-Devices/>
19. 魏少军：中美»较劲»两败俱伤，勿过度强调»国产替代», 2020-06-30 作者：王琼芳 <https://www.esmchina.com/news/6734.html>
20. **Eloy J.-Ch.** How US trade pressure will strengthen China's semiconductor supply chain in 2021 // i-Micronews. January 14. 2021. [https://www.i-micronews.com/how-us-trade-pressure-will-strengthen-chinas-semiconductor-supply-chain/?utm\\_source=ZohoCampaigns&utm\\_campaign=iMN\\_15Janvier\\_2021\\_Asia\\_2021-01-14&utm\\_medium=email](https://www.i-micronews.com/how-us-trade-pressure-will-strengthen-chinas-semiconductor-supply-chain/?utm_source=ZohoCampaigns&utm_campaign=iMN_15Janvier_2021_Asia_2021-01-14&utm_medium=email)
21. **Wang F.** China Faces Covid-19, Trade War & „Decoupling” from Others // EE Times. 07.07.2020. <https://www.eetimes.com/china-faces-covid-19-trade-war-decoupling-from-others/#>