

Трансформация микроэлектроники США: формирование замкнутой национальной экосистемы микроэлектроники на примере корпорации Intel

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

УДК 621.37 | ВАК 05.27.01

Ведущая уже несколько (с различной интенсивностью) лет между США и КНР «Холодная технологическая война» породила новую реальность. Она заключается в том, что процесс глобализации разработки и производства изделий микроэлектроники завершился. Ему на смену пришла «национализация» – создание замкнутых экосистем микроэлектроники (в основном в составе сегментов полупроводниковых материалов, оборудования, инструментальных средств САПР, СФ-блоков, разработки и производства ИС), независимых от остального мира. Эти процессы хорошо просматриваются при анализе деятельности корпорации Intel в последние год-два.

Глобализация во многом стала следствием однополярного миропорядка. В ее рамках вынос производства в менее развитые страны с целью снижения издержек в определенный период являлся естественным процессом. Возвращение к многополярности повысило значение отраслей, определяющих научно-технический прогресс с точки зрения, как обеспечения конкурентоспособности национальных экономик, так и национальной безопасности. Основной отраслью, ставшей узловой в глобальном экономическом и геополитическом противостоянии, стала микроэлектроника и ряд смежных отраслей, как обеспечивающих ее развитие, так и рассматривающих ее в качестве базовой для себя отрасли. Неудивительно, что две крупнейшие экономики мира, США и КНР, стремятся создать замкнутые и самодостаточные экосистемы в рамках микроэлектроники и смежных с ней высокотехнологичных отраслей промышленности.

КНР уже как минимум с 2019 года готовится к «технологическому разводу» с США, одновременно пытаясь избежать этого. Взаимопроникновение экономик этих стран слишком велико, в том числе в области микроэлектроники. Мгновенный разрыв может породить огромные проблемы для обеих сторон.

Со своей стороны, США стремятся восстановить свое технологическое превосходство в области микроэлектроники как одну из основ сохранения своего глобального

лидерства. Они также стремятся затормозить развитие КНР и подорвать ее возможности устойчивого развития в области микроэлектроники. Кстати, и США, и КНР рассматривают микроэлектронику не только как базовую отрасль развития всего радиоэлектронного комплекса, но и как важнейшую составляющую цифровой модернизации своих национальных экономик в целом.

Одной из целей, преследуемых США, является вывод из КНР на национальную территорию (в крайнем случае, на территорию ближайших союзников, и в первую очередь стран ЕС и НАТО) наиболее перспективных микроэлектронных и смежных производств. Аналогичные упреждающие действия производятся и в отношении Тайваня – чтобы при его возможном захвате Пекином тому не достались наиболее современные разработки и производственные мощности. В целом, ситуация в области микроэлектроники возвращается к временам «Холодной войны» между США и СССР, но на новом технологическом уровне и с измененным геополитическим раскладом.

ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАМКНУТОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ США

Во время обострения «Холодной технологической войны», развязанной США против КНР в 2018–2019 годах и достигшей пика в 2020 году, у правящего класса Америки возникла идея принять закон, стимулирующий развитие микроэлектроники США как базовой отрасли для развития не только высокотехнологичных отраслей промышленности, но и экономики страны в целом и ее цифрового перехода в частности. Действительно, причины имелись

¹ ГосНИИАС, советник генерального директора.

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

Таблица 1. Основные положения закона «О создании полезных инициатив по стимулированию разработки и производства полупроводниковых приборов в Америке» (CHIPS for America Act)

Положение закона	Содержание
Введение инвестиционного налогового кредита (ИТС)	Введение 40% возмещаемого ИТС для аттестованного полупроводникового оборудования (введенного в эксплуатацию) или любых аттестованных инвестиционных расходов на производство ИС до 2024 г. В дальнейшем ИТС сокращается до 30% в 2025 г., 20% в 2026-м и поэтапно отменяется в 2027-м
Создание федеральной программы согласования и дополнения мер стимулирования штатов и местных властей	Согласования и дополнения мер стимулирования строительства современного кремниевого завода. Бюджет федеральной программы – 10 млрд долл.
Создание Национальным институтом стандартов и технологий (NIST) новой программы в области полупроводниковых приборов	Развитие в США современной производственной базы, рабочей силы в рамках программы STEM, кластеризация экосистем, борьба за лидерство США в области 5G, корпусирования и тестирования ИС
Расширение прав Министерства обороны США	Дается право финансирования НИОКР, обучения рабочего персонала, испытаний и оценки программ и проектов в области полупроводниковых технологий
Учреждение целевого (доверительного) фонда международного консорциума (со странами-партнерами) в области микроэлектроники	Координация политики в сфере микроэлектроники, обеспечение прозрачности в цепочках поставок и большей согласованности в отношении стран с плановой экономикой. Бюджет – 750 млн долл. на 10 лет
Создание подкомитета по обеспечению лидерства в области полупроводниковых приборов в составе Национального совета по науке и технике (NSTC)	Цель – поддержание ведущих позиций США в области полупроводниковых технологий и инноваций, координация программ НИОКР по микроэлектронике

и имеются существенные – доля США в мировой структуре мощностей по производству полупроводниковых приборов снизилась с 37% в 1990 году до 12% в 2021 году и существовала тенденция дальнейшего уменьшения этой доли [1]. К тому же крупнейший в мире кремниевый завод (foundry, контрактное производство ИС, предоставление инструментальных средств САПР и СФ-блоков* партнеров), TSMC, и южнокорейская корпорация Samsung опередили ведущие американские фирмы на два-три технологических поколения. В условиях достигнутых успехов КНР в области микроэлектроники и обострения отношений с ней сложившаяся ситуация показала правящим американским кругам опасной и было решено вернуться к замкнутой экосистеме полупроводниковой (микроэлектронной) промышленности с тем, чтобы наиболее чувствительные

звенья цепочек поставок оказались на национальной территории или хотя бы у ближайших союзников (политика Трампа «Сделаем Америку великой снова» и ее фактическое продолжение при Байдене). При этом учитывались и озабоченности относительно Тайваня.

На этом фоне весь 2020 год активно обсуждался проект «Закона о создании полезных инициатив по стимулированию разработки и производства полупроводниковых приборов в Америке» (CHIPS for America Act), предусматривающий выделение на эти цели 52 млрд долл. в течение 10 лет. Его основные положения приведены в табл. 1 [2]. Но пока дело дошло только до того, что Сенат впервые одобрил этот законопроект в июне 2021 года, а Палата представителей – в начале февраля 2022 года [1]. Соответственно, выделение средств на реализацию целей, предусмотренных данным законопроектом, и в 2021, и в 2022 годах осуществлялось через «Закон о полномочиях в сфере национальной обороны» (National Defense Authorization Act, NDAA). Этот закон принимается ежегодно (с 1961 года) и утверждает годовой бюджет и все расходы МО США.

* Semiconductor IP – совокупность наработок фирмы в области создания библиотек стандартных/заказных элементов и инфраструктуры их поддержки. В РФ именуется сложно-функциональными (СФ) блоками.

Почему CHIPS for America Act до сих пор не принят? Потому что Палата представителей и Сенат уже утвердили свои собственные варианты этого законопроекта – «Об инновациях и конкуренции» (U. S. Innovation and Competition Act, USICA) и «Создание возможностей для превосходства Америки в производственных технологиях и экономической мощи» (America Creating Opportunities for Manufacturing Pre-Eminence in Technology and Economic Strength (America COMPETES) Act of 2022, 4 февраля 2022 года) соответственно. Оба этих законопроекта предусматривают выделение 52 млрд долл. на микроэлектронику, но палаты Конгресса США никак не согласуют их. Сенатский законопроект более обширен: он направлен на борьбу с экономическими, военными и технологическими возможностями КНР. Его предполагаемый бюджет – 250 млрд долл. Из них 52 млрд на микроэлектронику: 39 млрд для стимулирования (гранты) строительства или расширения заводов по производству ИС; 10,5 млрд – на НИОКР; 2 млрд – на поддержку Министерства обороны США (исследования, испытания и развитие рабочей силы совместно с промышленностью и университетами); 0,5 млрд – Госдепартаменту и международным агентствам (США) для координации с союзниками расширения цепочек поставок ИС и новых технологий [3–5].

Есть еще один законопроект, также предусматривающий 52 млрд долл. на развитие микроэлектроники – «О содействии производству полупроводниковых приборов в Америке» (Facilitating American-Built Semiconductors, FABS Act). Он также с июля 2021 года периодически вносится в палаты конгресса – последний раз это произошло в конце марта 2022 года [3, 6].

Кроме того, в комплексе мер государственной поддержки США действует «Закон о безграничных перспективах» (Endless Frontier Act), выделяющий в течение пяти лет на фундаментальные исследования в областях искусственного интеллекта, полупроводниковых приборов, квантовых вычислений, перспективных средств связи, биотехнологий и перспективных энергетических технологий 110 млрд долл. Дополнительно правительство США планирует выделить 10 млрд долл. на создание не менее 10 региональных технологических центров [7].

В первых числах марта 2022 года сначала Д. Байден [8], а потом и группа из 142 конгрессменов и сенаторов призвали обе палаты преодолеть противоречия и наконец-то утвердить CHIPS for America Act [9]. Отмечалось, что сочетание грантов, налоговых льгот и инвестиций в НИОКР необходимо для укрепления позиций США в области полупроводниковых технологий в долгосрочной перспективе [10]. Кроме того, многие специалисты полагают, что выделение федеральных 52 млрд долл. будет стимулировать частные инвестиции в еще большем объеме. Например, в случае принятия CHIPS for America Act корпорация Intel

готова увеличить инвестиции в развитие современной производственной базы микроэлектроники в США до 100 млрд долл. Только ее планы построить комплекс производства ИС в штате Огайо оцениваются в 20 млрд долл. Это позволит создать 10 тыс. новых рабочих мест со средней зарплатой в 135 тыс. долл. [8].

Ожидается, что процесс согласования позиций палат Конгресса займет около двух-трех месяцев. Но его может затормозить вопрос о финансировании иностранных компаний – Samsung и TSMC также хотят получать предусмотренные законом средства для создания/ модернизации своих мощностей в США.

Они требуют, чтобы конкурировать за финансирование в рамках CHIPS for America Act было разрешено всем фирмам-изготовителям ИС независимо от того, где находится их штаб-квартира (сейчас это касается фирм со штаб-квартирой в США – еще один стимул для переноса на территорию страны не только производства, но и налоговой юрисдикции). TSMC также просит внести изменения в иммиграционную политику в США (для вывоза с Тайваня ценных специалистов). Samsung сейчас строит второй завод в США (г. Тейлор, штат Техас) в дополнение к заводу в Остине (штат Техас). TSMC строит завод в Аризоне (5-нм ИС) [11].

ПОЛИТИКА INTEL В ОБЛАСТИ НИОКР, МОДЕРНИЗАЦИИ И РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БАЗЫ

Как указано в одной из предшествующих статей, в апреле 2021 года корпорация Intel начала реализовывать пятилетний план модернизации в соответствии с концепцией IDM 2.0, состоящей из трех основных элементов (табл. 2) [12].

Так получилось, что значительная часть публикаций об Intel за последний год была посвящена реализации третьего пункта пятилетнего плана преобразования Intel.

Развитие экосистемы инноваций IFS

В феврале 2022 года корпорация Intel приступила к формированию экосистемы инноваций своего foundry-отделения – Intel Foundry Services (IFS). Для этого создан фонд в 1 млрд долл. для поддержки начинающих стартапов и признанных фирм, создающих прорывные технологии для экосистемы IFS. Фонд будет уделять приоритетное внимание инвестициям в возможности, сокращающие клиентам IFS время вывода продукции на рынок. Эти возможности – СФ-блоки, средства ПО, новые архитектуры ИС и перспективные технологии корпусирования. Intel также объявила о партнерстве с несколькими фирмами по ключевым направлениям развития отрасли: создание модульных продуктов с открытой чипсетной платформой, поддержка подходов к проектированию,

Таблица 2. Основные элементы концепции IDM 2.0 корпорации Intel, реализуемой с 2021 года

Элементы концепции IDM 2.0	Основное содержание
Обеспечение возможности оптимизации продукции, повышения экономической эффективности и устойчивость поставок	Поддержание собственной сети предприятий в разных странах, осуществляющих поточно-массовое производство ИС. Сохранение производства большей части продукции на собственных производственных мощностях. Разработка собственных технологических процессов с проектными нормами 7-нм и менее с использованием EUV-литографии*. Укрепление позиций в области перспективных методик корпусирования, позволяющих выпускать 2,5D и 3D ИС с различными сочетаниями СФ-блоков и чиплетов.
Расширение взаимодействия и использование услуг внешних кремниевых заводов	Расширение взаимодействия Intel с независимыми кремниевыми заводами, охватывающее ряд модульных конструкций на основе перспективных технологических процессов. В частности, это приборы на основе вычислительных приложений Intel как для клиентских сегментов, так и для сегментов центров обработки данных (ЦОД). Это обеспечит увеличение гибкости и возможностей масштабирования, необходимых для оптимизации маршрутных карт технологического развития Intel с точки зрения затрат, производительности, сроков вывода новой продукции на рынок и т. п.
Развитие современного бизнеса по оказанию услуг кремниевому заводу – Intel Foundry Services (IFS)	Корпорация планирует стать одним из крупнейших центров оказания услуг кремниевого завода для США и Европы с целью удовлетворения постоянно растущего спроса на полупроводниковые приборы. Конкурентных преимуществ планируется достичь за счет сочетания в рамках IFS передовых технологических процессов формирования кристаллов ИС и перспективных методик их сборки/корпусирования/тестирования (включая 2,5D-/3D-корпусирование). В распоряжение IFS передается широкий портфель СФ-блоков (включая ядра ARM, RIS-V и x86 процессоров).

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

использующих архитектуры (x86, Arm и RISC-V) с различными наборами команд (ISA).

С появлением перспективных технологий 3D-корпусирования все чаще используется модульный подход к проектированию – переход от архитектуры «система-на-кристалле» к архитектуре «система-на-модуле». Это обеспечивает разделение сложных ИС на модульные блоки – «чиплеты».

Надежная экосистема имеет решающее значение для того, чтобы помочь заказчикам воплотить свои проекты в жизнь с использованием технологий IFS. Новый инновационный фонд будет способствовать укреплению экосистемы IFS за счет:

- акционерного инвестирования в прорывные стартапы*;

* equity investment – акционерное инвестирование, инвестирование в акции, инвестирование в собственный капитал – вложение средств в какое-либо предприятие или вид деятельности, при котором инвестор непосредственно участвует в собственном капитале инвестируемого предприятия, т. е. инвестирование путем приобретения акций предприятия.

- осуществления стратегических инвестиций для ускорения расширения партнерских отношений;
- инвестиции в экосистему для развития прорывных возможностей, поддерживающих клиентов IFS [13].

Использование возможностей этой экосистемы становится более важным, чем когда-либо, поскольку спрос на полупроводниковые приборы растет и на разных рынках, и в различных областях применения. Для расширения возможностей данной экосистемы инноваций при IFS создано подразделение IFS Accelerator, а технологические платформы IFS сделаны доступными для партнеров – с целью ускорения инновационного процесса. В работе IFS Accelerator участвуют инновационные фирмы-партнеры, работающие по следующим направлениям:

- Альянс разработчиков инструментальных средств САПР: Ansys, Cadence, Siemens EDA, Synopsys;
- Альянс разработчиков СФ-блоков: Alphawave, Analog Bits, Andes, Arm, Cadence, eMemory, M3I, SiFive, Silicon Creations, Synopsys, Vidatronic;
- Альянс поставщиков услуг проектирования: Capgemini, Tech Mahindra, Wipro [14].

Развитие производственной базы Intel

Корпорация Intel запланировала общий объем своих капиталовложений в производственные мощности в течение 10-ти ближайших лет на уровне более 100 млрд долл. [15]. Правда не совсем ясно, относится ли эта сумма к планам по всему миру или только к планам на территории США – одновременно на те же 10 лет капиталовложения в Европе предполагаются на уровне 80 млрд долл. [16]. Два наиболее крупных проекта – сооружение мощностей кремниевых заводов в штатах Аризона и Огайо общей стоимостью 40 млрд долл. (табл. 3). Проект по сооружению заводов в Огайо поддерживают Air Products, Applied Materials, LAM Research и Ultra Clean Technology. Масштабы и темпы расширения Intel в Огайо будут зависеть от финансирования в соответствии с законом CHIPS for America Act. Заводы в Огайо спроектированы под перспективные процессы корпорации [15].

Расширение производственной базы осуществляется не только за счет строительства новых заводов, но и за счет поглощения других фирм. Так, в феврале 2022 года Intel пришла к окончательному соглашению с Tower Semiconductor (Мигдаль а-Эмек, Израиль, № 9 в рейтинге «чистых» кремниевых заводов) о ее поглощении за 5,4 млрд долл. Одна из целей этого поглощения – попытка IFS приблизиться к крупнейшему в мире кремниевому заводу, тайваньской корпорации TSMC, и стать одним из крупнейших игроков рынка «чистых» кремниевых заводов, емкостью почти 100 млрд долл.

Tower обладает широким портфелем интеллектуальной собственности (СФ-блоки) в области РЧ ИС, мощных полупроводниковых приборов, SiGe ИС, промышленных датчиков, а также обширными связями в области СФ-блоков и САПР. Ранее Tower купила кремниевый завод Jazz Semiconductor (Ньюпорт-Бич, штат Калифорния). Сейчас Tower обрабатывает в год более 2 млн пластин. Клиенты – американские и азиатские fabless-фирмы (проектирование ИС) и IDM (разработка, проектирование и производство ИС). Закрытие сделки – примерно через 12 месяцев [17].

Наконец, по данным Reuters, корпорация Intel инвестирует 7 млрд долл. в создание нового завода в Малайзии (штат Пенанг) по корпусированию ИС с использованием новейших технологий корпусирования [18].

Также нужно отметить, что до тех пор, пока не будут разработаны и освоены собственные процессы с минимальными проектными нормами, корпорация Intel намерена, как и Apple, производить свои 3-нм ИС на мощностях TSMC. Причина – отсутствие собственных техпроцессов и мощностей по изготовлению 3-нм ИС [19]. Intel намерена «вернуть лидерство» в микроэлектронике, для чего попытается освоить пять технологических уровней за четыре года, перейдя с нанометров на нангстремы [12].

TSMC начнет мелкосерийное производство ИС по 3-нм техпроцессу («N3») для Intel и Apple в конце 2022 года. В 2023 году TSMC станет производить для Intel по N3 процессу графические процессоры следующего поколения. Аналитики рассматривают это как часть перехода от планарных ИС к 3D ИС, что позволит значительно увеличить плотность размещения транзисторов и (в идеале) продлить действие так называемого «Закона Мура» еще на 10 лет. Intel планирует к 2030 году интегрировать на кристалле ИС триллион транзисторов [19].

С планами развития производственной базы тесно связаны и планы развития программ НИОКР. У Intel они обширны и их описание требует отдельной статьи. Но интересно упомянуть о ситуации с Arm. Как известно, до предложения Nvidia о поглощении Arm, в полупроводниковой промышленности шли разговоры о создании консорциума для ее покупки у Softbank. После отказа Nvidia от сделки из-за регуляторов, эти идеи снова всплыли. О готовности войти в возможный консорциум по покупке Arm заявила корпорация Intel. Ее автономному подразделению IFS необходим доступ к интеллектуальной собственности Arm. Также Intel подходит и выход Arm на IPO.

Однако сейчас Arm – убыточная компания с доходом в 2 млрд долл. и будет трудно убедить инвесторов заплатить хотя бы 32 млрд долл., за которые Softbank купил Arm в 2016 году. Продажа консорциуму может быть привлекательной, но если в него войдут клиенты Arm (другой состав консорциума сформировать трудно), то это может не понравиться регулирующим органам, стремящимся сохранить нейтралитет лицензирования Arm [20].

Развитие производственной и научно-исследовательской базы Intel в Европе

В следующие 10 лет корпорация Intel планирует инвестировать 80 млрд евро на развитие своей производственной и научной базы в Европе. Так, в Магдебурге (ФРГ) построят завод по производству 2-нм ИС за 17 млрд евро, в Ирландии на удвоение мощностей существующего завода будет вложено 12 млрд евро. Ведутся переговоры с Италией о создании завода по корпусированию ИС за 4,5 млрд евро. Во Франции будет создан центр НИОКР по высокопроизводительным вычислениям и искусственному интеллекту. В Польше на 50% расширяются лабораторные площади для работы с глубокими нейронными сетями [16].

Остановимся чуть подробнее на заводе Intel по обработке пластин в Лейкклипе (Ирландия, Fab34), сооружаемом с 2019 года. В январе 2022 года здесь начались установка и наладка технологического оборудования. Пуск в строй Fab34, общей стоимостью 7 млрд долл., намечен на 2023 год. Благодаря этому производственные мощности Intel в Ирландии удвоятся. Стандартный завод по обработке пластин корпорации Intel обычно оснащается примерно 1,2 тыс. современных инструментальных средств,

стоимость многих из них колеблется в диапазоне от миллионов до сотен миллионов долларов. Отмечается, что Fab 34 станет первым предприятием корпорации, производящим ИС по новому технологическому процессу – Intel 4. Этот процесс является развитием 7-нм технологии Intel (второе поколение) и сопоставим по производительности и ряду других параметров с 5/4-нм технологиями корпораций Samsung и TSMC (по оценкам специалистов Intel), а также полностью реализуется с использованием EUV-литографии [21].

Цель Intel – создать в ЕС устойчивую цепочку поставок и европейскую экосистему разработки и производства перспективных ИС следующих поколений (с проектными нормами 2 нм и менее). Все это нужно для уменьшения зависимости Запада от азиатских производственных мощностей, на которых сейчас изготавливается до 80% всех ИС [16]. Как видно, Intel четко выполняет планы правящих кругов США, разумеется, с учетом своих интересов.

Подготовка кадров

Корпорация Intel намерена выделить 100 млн долл. на обучение кадров и сотрудничество с американскими университетами по программам НИОКР в области микроэлектроники. При этом 50 млн долл. даются учебным заведениям штата Огайо (где Intel планирует построить два кремниевых завода – за 10 млрд долл. каждый) – на инновационные программы в сфере разработки перспективных технологий проектирования и производства ИС.

Также Intel и Национальный научный фонд США (NSF) выделяют по 50 млн долл. в течение 10 лет на поддержку университетских преподавателей и исследователей по всей стране, занятых в НИОКР, ориентированных на совершенствование методов проектирования и производства ИС.

Инициативы Intel «...расширяют доступ к использованию современных моделей STEM*-образования». Отмечается, что Intel хочет нанимать широкий круг студентов и выпускников университетов с различным образованием, от младших специалистов до докторов наук [22].

* 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/>

Таблица 3. Некоторые проекты корпорации Intel по расширению производственной базы IFS

Дислокация производства	Описание проекта
Чэндлер, штат Аризона	Два новых кремниевых завода (обработка 300-мм пластин) в составе IFS общей стоимостью 20 млрд долл. Сооружаются с сентября 2021 года на территории кампуса Окоитильо, в котором с 2020 года уже действует завод по обработке 300-мм пластин с использованием 10-нм процесса – Fab42.
Колумбус, штат Огайо	Два новых кремниевых завода (обработка 300-мм пластин) в составе IFS общей стоимостью 20 млрд долл. На строительстве будут заняты 7 тыс. чел., численность персонала новых заводов – 3 тыс. чел. Начало строительства – в конце 2022 года. Пуск в строй – 2025 год. Создаются под передовые технологические процессы Intel, включая Intel 18Å (ориентированы на ИС для высокопроизводительных мобильных устройств, средств ИИ и т. п.)

ЗНАЧЕНИЕ ОПЫТА США ДЛЯ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Опыт США и корпорации Intel свидетельствуют о важности следующих моментов:

- признание микроэлектроники базовой отраслью не только радиоэлектронного комплекса и всех высокотехнологичных отраслей, а также одним из основных факторов ускорения научно-технического прогресса;
- осознание обществом, промышленностью и властью важности развития микроэлектроники для перевода экономики страны на новый технологический уклад и ее цифровизации, а также обеспечения национальной безопасности;
- хорошая координация деятельности промышленными учреждениями, а также структурами государственного и местного управления с точки подготовки кадров учреждений высшего / среднего;
- наличие устоявшихся отраслевых ассоциаций и консорциумов, занимающихся отработкой отраслевых стандартов, организацией совместных НИОКР до конкурентного уровня по перспективным направлениям, лоббированием интересов отрасли на уровне высшей исполнительной и законодательной власти, участие в разработке законодательства, затрагивающего интересы отрасли.

К сожалению, большая часть проблем российской микроэлектроники связана с малой востребованностью

ее продукции на отечественном рынке, недостаточностью средств, низким уровнем координации НИОКР. Также низок уровень взаимодействия с законодательной и исполнительной властью, научными и учебными учреждениями. В отрасли отсутствуют работы по определению эффективности разработанных отечественных микроселектронных изделий. Разобщенность отечественных микроселектронных предприятий не позволяет разработать единую перспективную программу работ в области микроселектроники. В этом плане нам крайне интересен опыт США по комплексной подготовке кадров для микроселектроники, начиная со школы и во время всей карьеры специалиста, ведение квалификационных реестров работников и т. п. Данный вопрос подробно рассматривался в [23].

* * *

Анализ деятельности властей США в целом и корпорации Intel в области микроселектроники показывает ее комплексный и всесторонний, взаимоувязанный характер на всех уровнях и во всех сферах приложения усилий. Эта деятельность охватывает вопросы организации НИОКР, ускорения инновационного процесса, совершенствования базовых технологических процессов, создания новых материалов и технологического оборудования, подготовки и повышения квалификации кадров. Главная цель – формирование замкнутой, самодостаточной экосистемы микроселектроники в пределах национальных границ и границ стран-союзниц. Это должно обеспечить сохранение и укрепление технологического лидерства, а на этой основе – и консервации военно-политического и экономического доминирования Запада во главе с США над остальным миром.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Shephardson D.** U. S. Senate approves \$52 bln chips bill in bid to reach compromise // Reuters. March 29. 2022.

2. **Макушин М., Брыкин А.** Микроселектроника и государственная политика высокотехнологичных стран: «национализация» взамен глобализации // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2021. № 9 (00210). С. 148–156.

3. SIA Applauds Senate Introduction of FABS Act // Semiconductor Digest. June 18. 2021.

4. **Hambler M.** Chip, auto groups urge Congress to get moving on CHIPS Act // Fierce Electronics. Jul 22. 2021.

5. **Hambler M.** U. S. Senate passes sweeping \$250B bill to address China threat // Fierce Electronics. Jun 9. 2021.

6. SIA Endorses FABS Act Introduced in House. Semiconductor Digest. March 19, 2022.

7. **Borak M.** US-China tech war: basic research in AI, semiconductors and biotech gets closer to US\$110 billion boost in US // South China Morning Post. May 14. 2020.

8. **Hambler M.** President Biden calls again for chip funds, lauds Intel plans in Ohio // Fierce Electronics. Mar 3, 2022.

9. **S. Davis.** Matsui, McCaul, Warner, Cornyn, Kelly Call for Semiconductor Funding to Address Supply Chain Shortage // Semiconductor Digest. March 9. 2022.

10. SIA Endorses FABS Act Introduced in House // Semiconductor Digest. March 19. 2022.

11. **Manners D.** TSMC and Samsung seeking Chips Act money // Electronics Weekly. 29th March. 2022.

12. **Макушин М.** Контрактное производство ИС: ведущие мировые кремниевые заводы расширяют мощности. Часть 2 // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2022. № 2 (00213). С. 70–78.

13. Intel Launches \$1 Billion Fund to Build a Foundry Innovation Ecosystem // Semiconductor Digest. February 8. 2022.

14. Intel Foundry Services Launches Ecosystem Alliance to Accelerate Customer Innovation // Semiconductor Digest. February 8. 2022.

15. Intel Announces Next US Site with Landmark Investment in Ohio // Semiconductor Digest. January 21. 2022.

16. **Manners D.** Intel to invest €80bn in Europe // Electronics Weekly. 16th March. 2022.

17. Intel to Acquire Tower Semiconductor for \$5.4 Billion // Semiconductor Digest. February 15. 2022.

18. **Hambler M.** Intel to invest \$7B in chip fab for Penang, report says // Fierce Electronics. Dec 14. 2021.

19. **Patterson A.** Intel Will Rely on TSMC for its Rebound. 02.18.2022.

20. **Manners D.** Intel open to joining consortium to buy Arm // Electronics Weekly. 22nd February. 2022.

21. Ireland milestone: first tool roll-in at Fab 34 // i-Micronews. January 24. 2022.

22. **Abarinova M.** Intel invests \$100M in education, chip R&D across U.S. // Fierce Electronics. Mar 18. 2022.

23. **Брыкин А., Макушин М.** Микроселектроника США: инициативы и подходы к совершенствованию национальной системы подготовки кадров // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2022. № 2 (00213). С. 56–69.

ООО СМП ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН
www.SMD.ru
 электронные компоненты для поверхностного монтажа
 НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК
 • Катушки индуктивности на токи до 10 А
 • U FL разъемы и pigtail со SMA
 Москва, Ленинградский гр., 80 к. 32; e-mail: sales@smd.ru
 Тел.: (495) 158-7396, (495) 943-6244, (495) 943-8780