

N. Voitovich*The Institute of Economics of the NASB (Minsk)*

DEVELOPMENT OF THE MICROELECTRONIC INDUSTRY IN CHINA

The article examines the experience of the development of the microelectronic industry in the People's Republic of China. The program documents ("Recommendations for the development of the national microelectronic industry", "Made in China – 2025" etc.) adopted by the People's Republic of China for the development of the microelectronic industry have been studied. The activities of China's leading companies in the field of microelectronics industry (Shanghai Manufacturing International Corp., Huahong Group, Yangtze Memory Technologies etc.) are analyzed.

Keywords: semiconductor industry; microelectronics; silicon factory; microchips; integrated circuits; semiconductors; memory circuits; DRAM.

Н. В. Войтович*Институт экономики НАН Беларуси (Минск)*

РАЗВИТИЕ МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В КИТАЕ

В статье рассмотрен опыт развития микроэлектронной промышленности в Китайской Народной Республике. Изучены программные документы («Рекомендации по развитию национальной микроэлектронной промышленности», «Сделано в Китае – 2025» и др.), принятые в Китайской Народной Республике для развития микроэлектронной промышленности. Проанализирована деятельность ведущих компаний Китая в области микроэлектронной промышленности (Shanghai Manufacturing International Corp., Huahong Group, Yangtze Memory Technologies и др.).

Ключевые слова: полупроводниковая промышленность; микроэлектроник; кремниевый завод; микрочипы; интегральные схемы; полупроводники; схемы памяти; динамические оперативные запоминающие устройства.

Впервые микроэлектроника зафиксирована отдельной позицией в IX пяти-летнем плане социально-экономического развития КНР. По оценкам различных специалистов, за период с 1990-х до начала 2010-х гг. на инвестиции в микроэлектронику Китай направил 25–30 млрд долл. США. Помимо пятилетних планов, развитие отрасли определялось и целевыми комплексными программами. Так, в 2000-х гг. реализовывалась программа «Стимулирование развития микроэлектроники в КНР», построенная по нисходящему принципу. Программа, известная как «Стратегия № 18», запустила сеть государственных высокотехнологичных инкубационных центров на территории КНР, обеспечив ряд положительных эффектов. Однако в рамках данной программы не удалось создать звездную полупроводниковую фирму, способную конкурировать с западными компаниями. Более того, во время реализации стратегии разрыв между импортом и внутренним производством интегральных схем (далее – ИС) продолжал нарастать [1].

Правительство Китая было обеспокоено этим по двум причинам: упускаемая выгода и национальная безопасность. В 2014 г. в целях содействия ускоренному развитию индустрии интегральных схем Министерство промышленности и информационных технологий, Комиссия по развитию и реформам, Министерство науки и технологий, Министерство финансов и другие ведомства составили Национальный план содействия развитию индустрии интегральных схем (План содействия), основная цель которого – найти наиболее эффективный и понятный путь определения китайской полупроводниковой промышленностью своих перспектив.

План содействия определяет следующие задачи:

- развитие индустрии проектирования интегральных схем;
- ускорение развития индустрии производства интегральных схем;
- повышение уровня развития передовой индустрии упаковки и тестирования;
- анализ ключевого оборудования и материалов для производства ИС [2].

Стремясь преодолеть импортозависимость, Госсовет КНР в 2014 г. утвердил Рекомендации по развитию национальной микроэлектронной промышленности (Рекомендации). Данный документ определяет стратегию модернизации национальной полупроводниковой промышленности, поиск путей перехода от догоняющего развития к опережающему благодаря прогрессирующему импортозамещению.

Госсоветом КНР в 2015 г. утвержден план «Сделано в Китае – 2025» (далее – МПС-2025). Он предусматривает одновременное укрепление возможностей передового производства и инновационного развития национальной индустрии проектирования ИС и внутреннего производства ИС в первую очередь благодаря развитию услуг кремниевых заводов.

Цель реализуемого плана МПС-2025 – увеличить содержание отечественных электронных компонентов в изделиях и системах, входящих в десять стратегических областей: авиакосмическая промышленность, железные дороги, информационные технологии, материалы, машиностроение, медицинская электроника, робототехника, судоходство, электромобили и энергетическое оборудование. В целом доля ИС местного производства в продажах на внутреннем рынке должна вырасти до 40 % в 2020 г. и до 70 % – в 2025 г.

План МПС-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;
- укрепить позиции отечественных фирм по проектированию и производству высокоплотных многокристальных модулей в области технологии 3D-микрорепродуцирования;
- 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) [3].

В результате реализации рекомендаций по развитию национальной полупроводниковой промышленности, а также плана МПС-2025 полупроводниковая промышленность демонстрирует быстрый рост, который, как ожидается, станет одним из драйверов мировой полупроводниковой промышленности. В области

разработки ИС компании HiSilicon и Unigroup Spreadtrum & RDA входят в десятку лучших в мире разработчиков ИС. В области обработки пластин на китайское производство ИС приходится 13–15 % мирового производства. И это несмотря на то, что Shanghai Manufacturing International Corp. (далее – SMIC) и Huahong Group отстают от зарубежных конкурентов в области передовой обработки.

В соответствии с Рекомендациями в 2014 г. был создан Фонд развития микроэлектроники Китая (China Integrated Circuit Industry Investment Fund), который за прошедшие годы привлек для достижения целей развития перспективных технологий микроэлектроники и изделий микроэлектроники более 22 млрд долл. США. Помимо этого, в ряде провинций и крупных городов было создано 11 местных фондов развития микроэлектроники. В целом предпринимаемые усилия по развитию национальной полупроводниковой промышленности призваны если не устранить, то существенно ослабить зависимость осуществляемого в КНР производства электронных систем от закупки зарубежных ИС и полупроводниковых приборов [4].

Основными китайскими производителями ИС являются известные кремниевые заводы SMIC, Huahong Group, которых по мощностям быстро догоняют фирмы Yangtze Memory Technologies (далее – YMT) и ChangXin Memory Technologies (далее – CXMT), специализирующиеся на схемах памяти.

Завод SMIC является крупнейшим производителем полупроводников в Китае. Компания основана в 2000 г. и сейчас занимает пятое место в мире по доходам от производства полупроводников после TSMC, Samsung Foundry, UMC и Global Foundries.

В настоящее время SMIC имеет шесть заводов: три по обработке 200-миллиметровых пластин и три по обработке пластин диаметром 300 мм. В августе 2022 г. стало известно, что SMIC построит завод по обработке 300-миллиметровых пластин в Тяньцзине. Компания вложит в строительство рекордные по меркам Китая 7,5 млрд долл. США. Завод в Тяньцзине стал четвертым строящимся предприятием компании. Также SMIC строит заводы в Шэньчжэне, Пекине и Шанхае [5].

Основной упор делается на технологии с проектными нормами от 40 до 14 нм, но не менее существенное внимание уделяется и масштабированию до уровней меньше 14 нм. В 2020 г. представители SMIC утверждали, что могут пропустить 12-нм процесс и сразу перейти к 7-нм процессу.

Несмотря на то, что санкции США должны были помешать SMIC производить передовые чипы, подходящие для современных компьютеров и смартфонов, это не остановило инженерный прогресс компании. В июле 2022 г. инженеры из TechInsights реконструировали образец микросхемы SMIC, извлеченной из машины для майнинга криптовалюты, и выяснили, что размер ее транзисторов соответствует 7-нм техпроцессу. Из чего можно сделать вывод, что компания самостоятельно освоила производство микропроцессоров по технологии 7-нм, но не афиширует пока это достижение [6].

Hua Hong Semiconductor Limited (далее – Hua Hong) – китайская компания по производству полупроводников, основанная в 1996 г. в рамках национальных усилий Китая по развитию своей отрасли ИС. Компания является частью Huahong Group, группы предприятий, основной деятельностью которой является производство ИС с передовой технологией производственной линии «200 мм + 300 мм». Это второй по величине производитель полупроводников в материковом Китае после SMIC и шестой по величине в мире.

В настоящее время Hua Hong управляет тремя заводами по обработке 200-миллиметровых пластин и двумя заводами по обработке 300-миллиметровых пластин в Шанхае, расположенными в Цзиньцяо, Чжанцзяне и Канцяо. Также строится новый завод по обработке 300-миллиметровых пластин в Национальной зоне высокотехнологичного промышленного развития Уси.

Самым передовым узлом Hua Hong является его дочерняя компания Shanghai Huali (HLMC), которая может производить 28/22-нм техпроцесс и в настоящее время разрабатывает 14-нм технологии [7].

В целях уменьшения импортозависимости КНР развивает национальную индустрию схем памяти. Поэтому в 2016 г. создана компания YMTC, ориентированная на производство 3D-схем флэш-памяти NAND-типа, а фирма CXMT наращивает выпуск первых китайских ДОЗУ.

YMTC является дочерней компанией Tsinghua Unigroup. Его потребительские товары продаются под брендом Zhitai. В 2018 г. YMTC представила свою архитектуру Xtacking, разработанную для вертикальных микросхем NAND. Xtacking позволяет YMTC производить память и логические схемы на отдельных пластинах и соединять их с помощью плазменной активации и термического отжига. Согласно YMTC, это обеспечивает более высокую скорость производственного процесса и повышает производительность NAND. Микросхемы флэш-памяти YMTC 3D NAND были первыми чипами, которые стали массово производиться внутри Китая. Позже, в 2018 г., YMTC объявила о массовом производстве своего 32-слойного чипа флэш-памяти 3D NAND, а в сентябре 2019 г. сообщила, что начала массовое производство своего 64-слойного чипа флэш-памяти TLC 3D NAND с обоими чипами, используя свою архитектуру Xtacking.

С 2020 г. YMTC использует 20-нм техпроцесс для производства 64-слойной флэш-памяти 3D NAND. В апреле 2020 г. компания представила свой первый 128-слойный вертикальный чип NAND на основе архитектуры Xtacking, производство которого началось в 2021 г. В августе 2022 г. таблоид Global Times, принадлежащий Коммунистической партии Китая, заявил, что YMTC представила X3-9070, свой первый 232-слойный чип 3D NAND [8; 9].

Крупнейшим производителем ДОЗУ в Китае остаётся компания CXMT. Компания ChangXin была основана в мае 2016 г. как проект, совместно возглавляемый местным государственным промышленным инвестиционным фондом Hefei (HPIF) и компанией GigaDevice Semiconductor Beijing Inc. В середине 2017 г. завершилось строительство завода по обработке 300-миллиметровых пластин. Осенью 2019 г. CXMT начала производить 4- и 8-гигабитные LPDDR4 и DDR4 DRAM. Для производства чипов CXMT использует 19 нм технологический процесс, уступая своим конкурентам Samsung, SK Hynix и Micron, которые уже используют более продвинутые 14-нм технологии [10].

В ноябре 2023 г. стало известно, что CXMT приступила к массовому производству 12-гигабитных микросхем энергоэффективной памяти LPDDR5 со скоростью передачи информации до 6400 МТ/с, оснащённых встроенной поддержкой функции ECC (коррекции ошибок). Микросхемы по производительности не уступают конкурентным решениям более крупных игроков рынка памяти, включая Micron, Samsung и SK Hynix. CXMT готова предложить производителям смартфонов микросхемы памяти LPDDR5 с упаковкой DSC и ёмкостью 6 Гбайт, а также чипы LPDDR5 ёмкостью 12 Гбайт с PoP-упаковкой (package-on-package) [11].

Следует отметить, что развитием микроэлектроники занимается не только центральное, но и местные правительства. Так, власти провинции Гуанчжоу, начиная с 2015 г., активно привлекают инвестиции зарубежных электронных фирм, включая Foxconn (Тайвань) и LG (Южная Корея). Они также реализуют проект CanSemi (иногда называется Guangzhou Yuexin или YPC). CanSemi – компания по производству 300-миллиметровых кремниевых пластин и аналоговых ИС. Компания основана в 2017 г. Проект состоит из трех фаз. Всего в трехфазный полупроводниковый проект будет инвестировано 37 млрд юаней. Проекты первой и второй очереди завершены и введены в эксплуатацию. В августе 2022 г. CanSemi приступила к строительству фазы III своего полупроводникового проекта. Фаза I проекта сосредоточена на процессах литографии 180–90 нм, фаза II – на 90–55 нм, а фаза III будет на 22 нм [12].

По данным IC Insights, производство ИС в КНР за 2021–2026 гг. почти удвоится – с 31,2 до 58,2 млрд долл. США. Соответственно, рост в сложных процентах (CAGR) за прогнозируемый период составит 13,3 % (рис. 1).



Рисунок 1. Динамика продаж и производства ИС в КНР

Примечание – Источник: [13].

Несмотря на то, что Китай является крупнейшей страной – потребителем ИС с 2005 г., это не обязательно означает, что за этим немедленно или когда-либо последует значительный рост производства ИС в Китае, которое составило 16,7 % от внутреннего рынка ИС (186,5 млрд долл. США) в 2021 г. по сравнению с 12,7 % в 2011 г. Более того, IC Insights прогнозирует, что этот показатель увеличится до 21,2 % в 2026 г. Из ИС на сумму 31,2 млрд долл. США, произведенных в Китае в 2021 г., китайские компании произвели ИС на сумму 12,3 млрд долл. США (39,4 %), что составляет лишь 6,6 % внутреннего рынка ИС в размере 186,5 млрд долл. США. Остальное произвели TSMC, SK Hynix, Samsung, Intel, UMC и другие иностранные компании, у которых есть заводы по производству пластин для ИС, расположенные в Китае. Ожидается, что до 2026 г. на долю иностранных

компаний (Samsung, SK Hynix, TSMC и т. д.) по-прежнему будет приходиться более 50 % производства микросхем в Китае [13].

Если производство ИС в Китае вырастет до 58,2 млрд долл. США в 2026 г., как прогнозирует IC Insights, то оно по-прежнему будет составлять лишь 8,1 % от общего прогнозируемого мирового рынка ИС в 2026 г. в размере 717,7 млрд долл. США. Даже после добавления значительной наценки к продажам ИС некоторых китайских производителей производство ИС в Китае, вероятно, по-прежнему будет составлять только около 10 % мирового рынка ИС в 2026 г.

Оценивая реальность достижения поставленных целей, специалисты IC Insights указывают на значительный прирост продаж ИС, которого могут добиться китайские фирмы в течение ближайших пяти лет. В первую очередь перечисляются крупнейший местный «чистый» кремниевый завод SMIC, Huahong Group, производители ДОЗУ YMTC и CXMT.

С учетом заявленных инвестиционных планов очевидно, что КНР добьется определенных успехов в снижении зависимости от импорта ИС. Однако все более пристальное внимание властей стран-конкурентов (в первую очередь США) к китайским попыткам приобретения высокотехнологичных фирм, а также правовые проблемы (включая судебные иски), с которыми китайские фирмы с большой вероятностью столкнутся в будущем, позволяют IC Insights предположить, что, несмотря на определенные успехи, заложенные планом МПС-2025 показатели достигнуты не будут. Насколько близко Китаю удастся подойти к реализации целей, покажет время.

Источники

1. China to Blow \$10B a Year on Chips [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.eetimes.com/china-to-blow-10b-a-year-on-chips/>. – Date of access: 27.11.2023.

2. Государственный совет опубликовал «План содействия развитию национальной индустрии интегральных схем» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gov.cn/xinwen/2014-06/24/content_2707281.htm. – Дата доступа: 27.11.2023.

The State Council has published a “Plan to promote the development of the national integrated Circuit industry”. – Mode of access: https://www.gov.cn/xinwen/2014-06/24/content_2707281.htm. – Date of access: 27.11.2023.

3. Made in China 2025 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.cittadellascienza.it/cina/wp-content/uploads/2017/02/IoT-ONE-Made-in-China-2025.pdf>. – Date of access: 27.11.2023.

4. Макушин, М. Экономические аспекты развития микроэлектроники КНР / М. Макушин, А. Фомина // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2019. – № 2. – С. 158–168.

Makushin, M. Economic aspects of the development of microelectronics in China / M. Makushin, A. Fomina // Electronics: Science, technology, business. – 2019. – № 2. – P. 158–168.

5. Semiconductor Manufacturing International Corporation [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.smics.com/en>. – Date of access: 27.11.2023.

6. SMIC вложит \$7,5 млрд в производство микросхем на территории Китая [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hightech.plus/2022/08/29/>

smic-vlozhit-75-mlrd-v-proizvodstvo-mikroshem-na-territorii-kitaya. – Дата доступа: 27.11.2023.

SMIC will invest \$7.5 billion in the production of chips in China [Electronic resource]. – Mode of access: <https://hightech.plus/2022/08/29/smic-vlozhit-75-mlrd-v-proizvodstvo-mikroshem-na-territorii-kitaya>. – Date of access: 27.11.2023.

7. Hua Hong Semiconductor Limited [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.huahonggrace.com/html/index.php>. – Date of access: 27.11.2023.

8. Yangtze Memory Technologies [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.ymtc.com/en/>. – Date of access: 27.11.2023.

9. China's memory upstart YMTC edges closer to rivals with 232-layer chip [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.reuters.com/technology/chinas-memory-upstart-ymtc-edges-closer-rivals-with-232-layer-chip-2022-08-04/>. – Date of access: 27.11.2023.

10. ChangXin Memory Technologies [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.cxmt.com/en/>. – Date of access: 27.11.2023.

11. Китайская CXMT начала массовое производство чипов памяти LPDDR5-6400 местной разработки – их будут использовать Xiaomi и Transsion [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dnews.ru/1096718/kitayskaya-kompaniya-cxmt-nachala-massovoe-proizvodstvo-chipov-pamyati-lpddr56400-mestnoy-razrabotki>. – Дата доступа: 30.11.2023.

12. CanSemi Starts Phase III Project As China's Chip Companies Advance [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.technologytimes.pk/2022/08/19/cansemi-starts-phase-iii-project-as-chinas-chip-companies-advance/>. – Date of access: 30.11.2023.

13. IC Insights [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.icinsights.com/>. – Date of access: 30.11.2023.

Статья поступила в редакцию 07.12.2023.

УДК: 338.242.2

E. Vorontsov
BSEU (Minsk)

A SYSTEM FOR KNOWLEDGE TRANSFORMATION INTO ADDED VALUE

The article analyses the reasons for failures in obtaining added value from the use of knowledge. It is argued that the effective value addition from knowledge is not ensured due to the lack of dedicated knowledge management systems that would take into account the specifics of knowledge, and that knowledge is not the property of the organization. Knowledge should be approached as resources borrowed or leased for a certain period of time. The process of profiting from the use of knowledge often is not under control of the organization.

There are presented results of the study of knowledge management systems at enterprises in Belarus, which show that documented knowledge management systems have not been implemented in all the organizations. The state of affairs in some of the areas assessed is unsatisfactory. The problem of knowledge assessment in organizations turned out to be the most difficult; the use of knowledge has