

高性能存储芯片产业发展研究

孟柳^{1,2,3}

(1. 中国电子科技集团公司电子科学研究院, 北京 100041; 2. 中国电子科技集团发展战略研究中心, 北京 100043;
3. 中电科发展规划研究院有限公司, 北京 100043)

摘要: 高性能存储芯片堪称全球人工智能蓬勃发展的核心驱动力, 不仅有力推动了信息技术产业不断迈进、显著提升电子设备性能、为服务器和数据中心的发展注入强劲动力, 还极大促进了人工智能与机器学习、物联网、虚拟现实以及增强现实等新兴技术的崛起。本文全面系统地梳理了我国高性能存储芯片的发展需求, 分析了高性能存储芯片的国际发展态势, 总结了我国高性能存储芯片的发展现状, 深入剖析了发展进程中所面临的问题与挑战, 精准指出其带来的变革机遇, 并提出以下针对性的对策建议: 一是分层施策夯基础, 变革策略求突破; 二是传统新型两手抓, 多条路线齐头并进; 三是加速形成新技术布局, 逐渐打破市场层垄断, 期望能够加速我国高性能存储芯片的发展进程。

关键词: 高性能存储芯片; 人工智能; 数据中心; 安全存储

中图分类号: TN4 文献标识码: A

Development of High-Performance Memory Chip Industry

Meng Liu^{1,2,3}

(1. China Academy of Electronic and Information Technology, China Electronics Technology Group Corporation, Beijing 100041, China; 2. Research Center for Development and Strategy, China Electronics Technology Group Corporation, Beijing 100043, China;
3. Institute for Development and Planning, China Electronics Technology Group Corporation, Beijing 100043, China)

Abstract: High-performance storage chips are the core driving force underlying the robust expansion of global artificial intelligence. They are crucial for promoting the information technology industry, improving the performance of electronic devices, driving the evolution of servers and data centers, and fostering nascent technologies such as artificial intelligence, machine learning, the Internet of Things, virtual reality, and augmented reality. This study explores the essence of high-performance storage chips and sorts out their development requirements and international development trend. Moreover, it summarizes the development status of high-performance storage chips in China, delves into the problems and challenges encountered, and pinpoints the transformative opportunities. Furthermore, it proposes the following policy suggestions: (1) implementing a stratified approach to solidify the foundation while revolutionizing strategies to strive for breakthroughs; (2) stressing on both traditional and novel technologies and pursuing parallel development along multiple pathways; and (3) accelerating the establishment of a novel technological framework to progressively break the market monopoly.

Keywords: high-performance memory chips; artificial intelligence; data center; secure storage

收稿日期: 2025-01-02; 修回日期: 2025-01-22

通讯作者: 孟柳, 中电科发展规划研究院有限公司高级工程师, 研究方向为科技创新、集成电路产业研究等; E-mail: mengliu@cetc.com.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“全球未来信息产业发展趋势及我国开辟新领域新赛道战略研究”(2023-XBZD-21)

本刊网址: sscae.engineering.org.cn

一、前言

高性能存储芯片包括动态随机存取存储器 (DRAM)、闪存 (NAND Flash)、高带宽存储器 (HBM) 等^[1], 具有高读写速度、大容量、低功耗、高可靠性、强稳定性、数据传输快速等特点^[2], 能够满足智能手机等移动设备、数据中心与云计算、人工智能 (AI) 与机器学习、汽车电子、安防监控、航空航天等对存储有高要求应用领域的需求。随着 AI 大模型和 AI 服务器的持续进化, 市场对高性能存储芯片的需求将达到前所未有的高度。同时, 随着手机、个人计算机等计算终端对大模型的积极采纳, 消费电子产品对存储芯片的需求也将持续增长。为此, 各国纷纷出台了一系列政策和发展计划, 如美国的《芯片与科学法案》《美国国家半导体技术中心愿景和战略》^[3], 韩国的产业支持计划、日本的资金支持、欧盟共同利益重要项目 (IPCEI) 计划等。

我国存储芯片在经历了早期的探索阶段和缓慢发展阶段后, 从 2016 年开始进入快速发展阶段。当前, 我国存储芯片的整体布局呈现多区域、多环节协同发展态势, 在政策支持、市场需求等因素的推动下, 不断加强技术研发和产业布局, 各个环节都取得了一定的成果, 但与国际先进水平相比仍存在一定差距。例如, 上游的半导体材料如硅片、光刻胶等虽然取得了一定进展, 但与国际先进水平相比仍有差距^[4]; 半导体设备如光刻机无法满足先进制程 (14 nm 及以下) 需求, 芯片设计领域如 DRAM, 在技术和市场份额上与国际巨头还有很大差距; 中游芯片制造工艺与国际先进水平 (10 nm) 相比发展较

滞后; 在下游应用领域, 随着 AI 技术的持续发展, 对存储芯片性能提出了更高的要求^[5], 需要加速推动“计算+存储+传感”全面扩展等的高性能存储芯片。

因此, 当前发展高性能存储芯片, 促进产业优化升级, 提高投入产出比、优化产品结构, 显得尤为急迫^[6]。为此, 本文从梳理高性能存储芯片的发展态势和发展现状出发, 分析高性能存储芯片发展面临的问题与挑战, 指出高性能存储芯片发展带来的变革与机遇, 并提出对策建议, 以期推动我国高性能存储芯片的快速发展。

二、高性能存储芯片的需求分析

(一) 高速读写

人工智能大模型、数据中心与云计算、智能手机、汽车电子、安防监控、航空航天等领域都对快速读取数据有着较高的要求。高速的读取能力可以通过优化存储架构, 采用数据预存、缓存、近存储 (见表 1)、超频技术等来实现; 也可以通过材料优化升级, 减少材料中的杂质缺陷来满足高性能存储芯片的发展需求。

以大模型为例, 在模型训练期间通常需要处理大量的数据, 高速读写可以快速加载训练数据, 提高模型训练的效率; 在模型实时推理过程中, 如自动驾驶, 通过高速读取传感器数据, 对输入数据进行实时推理, 并在毫秒级的时间内做出决策, 以确保行驶安全。

(二) 大容量

在数据存储备份、高性能计算、大数据与人工

表 1 主要企业的存储技术进展

公司	产品	性能	应用	位置
三星集团	HBM-PIM	速度高达 9.8 Gbps 的 HBM3e	图形处理器 (GPU)、AI 服务	DRAM 芯片中
	AxDIMM	系统性能在初步测试中提升至 1.8 倍, 系统整体功耗降低了近 43%	AI 计算、数据库软件的外置	服务器 RDIMMs
SK 海力士	AiM Accelerator-in-Memory	能卸载 96% 的计算任务至 DRAM 的存内计算单元, 显著提升计算效率; 功耗降低 80%	大模型、机器学习、高性能计算等场景	在 GDDR6 内存中嵌入了计算功能
阿里巴巴集团控股有限公司	3D DRAM	特定 AI 场景, 性能相比传统中央处理器 (CPU) 计算系统可提升 10 倍以上, 效能比提升高达 300 倍	虚拟现实 / 增强现实 (VR/AR)、无人驾驶、天文数据计算、遥感影像数据分析等场景	数据存储单元和计算单元相融合

智能、高清视频与多媒体、云服务与虚拟化等领域对大存储容量有着越来越高的需求。大容量的存储能力需要在设计上采用多层堆叠3D NAND闪存颗粒，在较小的物理空间内实现更大的存储容量，并通过存储分层将数据存储在不同性能和容量的存储介质上^[7]；或通过探索原子级存储技术，如利用单个原子的状态来表示数据信息，该技术一旦成熟，将极大提高存储密度，使存储容量达到前所未有的水平。

以大数据分析为例，大数据分析需要处理海量的数据，包括结构化数据、半结构化数据和非结构化数据^[8]。这些数据可能来自多个数据源，如传感器、社交媒体、日志文件等，物联网设备产生的大量传感器数据需要被收集和存储，以便进行分析和处理。这些数据通常需要存储原始数据、中间结果和最终结果，就需要大量的存储设备来支持。

（三）低功耗

智能穿戴设备、移动电子设备、物联网设备、医疗设备、工业自动化设备、数据中心和服务器、都对低功耗存储有着广泛的需求。存储介质如3D NAND Flash通过增加存储单元的堆叠层数，优化闪存转换层（FTL）设计，从而降低整体功耗；在电路优化设计方面，通过芯片架构精简，或采用分布式存储架构，降低每个节点的功耗；在软件算法方面，采用压缩数据、缓存管理、优化读写算法来降低整体功耗。

以智能穿戴设备为例，智能手表需要长时间运行且电池容量有限，低功耗设计可以确保手表在有限的电量下存储大量的用户数据，如运动记录、健康监测、消息记录等，还能快速读取数据，以使用户随时查看历史信息，且不影响续航能力。此外，AR/VR设备对存储的读写速度和容量有较高要求，从而为用户提供流畅的VR/AR体验^[9]。

（四）快速传输（高带宽）

在企业数据备份与恢复、大数据存储与分析、云存储服务、视频制作与媒体存储、移动设备存储方面对快速数据传输有着广泛的需求。改进高速接口技术，可以为存储设备提供更高的带宽和更低的延迟；在内部架构优化方面，采用更先进的缓存技术、并行读写技术等，也可以提高存储系统的整体性能。

数据对企业来说至关重要，以企业数据为例，快速传输技术在企业数据备份和恢复中起着关键作用。当企业遭遇数据丢失或系统故障时，需要尽快恢复数据以恢复业务运转。通过高速存储区域网络（SAN）或网络附件存储（NAS）设备，可以在几分钟内恢复大型数据库或关键业务文件，高速的传输速度能减少业务中断带来的损失。

（五）可靠性

在长期存储和频繁读写过程中，存储芯片需确保数据的准确性和完整性；在不同温度、湿度、电压等环境因素及长时间连续工作状态下，均能稳定读写；具备较长的使用寿命；与不同的硬件设备和软件系统兼容良好；可防止数据被非法访问、篡改或泄露；能有效抵抗电磁干扰，确保数据的稳定存储和传输；遇到意外断电、系统故障等，具备一定的数据恢复能力；同一批次在性能和可靠性方面要保持高度一致。

当前，我国国产厂商生产的DRAM DIMM可以支持英特尔的XMP，内存时序最低达到CL16，在克服行锤（Row Hammer）攻击方面，通过采用目标行刷新（TRR）技术，配备纠错码（ECC）功能、提升内存刷新率等方法，可取得一定成效，但要完全克服，还面临挑战。

三、高性能存储芯片的全球发展态势

（一）DRAM

DRAM是一种半导体存储器，与大部分的随机存取存储器（RAM）一样^[10]，DRAM中的数据会在电力切断后很快消失，因此它属于一种易失性存储器设备。①受消费电子市场需求变化、宏观经济形势等因素影响，价格波动仍将是DRAM行业面临的一个挑战。从长期来看，随着云计算、人工智能、物联网等技术的不断发展，DRAM市场规模有望继续增长，预计到2031年将达到1263.2亿美元。此外，由于智能网联汽车以及自动驾驶的发展，车用DRAM将创造新增量。②随着制程工艺的不断缩小，DRAM的制造难度越来越大，因此从2D架构转向3D架构成为未来发展的主要方向之一。③DRAM市场的竞争格局高度集中，三星集团、SK海力士、美光科技有限公司三大供应商，通过

技术创新、大规模生产和资本投入等方式，不断巩固自己的市场地位，提高行业壁垒。如表2所示，这三家公司DRAM的市场份额合计占比达98.3%，且这种格局在短期内难以改变。④DRAM会与其他半导体技术，如处理器、闪存等进行更紧密的融合，以实现更高的性能和更低的功耗。在封装技术方面，会出现更多的多芯片封装（MCP）、系统级封装（SiP）等技术^[11]，将DRAM与其他芯片集成在一起，可满足不同应用场景的需求^[12]。

（二）NAND Flash

NAND Flash存储器是Flash存储器的一种，为固态大容量内存的实现提供了廉价有效的解决方案^[13]。具有容量较大，改写速度快等优点，适用于大量数据的存储，因而在业界得到了越来越多的使用^[14]，广泛应用于嵌入式产品中，包括数码相机、MP3随身听记忆卡、体积小巧的USB闪存盘等。①整体随着服务器终端库存调整的逐步完成以及AI对大容量存储产品需求的强劲推动，呈增长趋势。②各大厂商通过研发3D NAND，提升闪存的存储密度，如三星集团、美光科技有限公司等国际企业都在积极探索更高层数的堆叠技术。根据三星集团的规划，2025年下半年将量产第十代V-NAND，堆叠层数将达到430层；Lam Research通过Lam Cryo 3.0（第三代低温电介质蚀刻技术），为其客户迈向1000层3D NAND铺平道路；通过不断优化闪存转化层（FTL）的设计和实现方式，进一步提高固态硬盘的性能和寿命，满足现代数据存储系统对高速、高效、可靠存储的需求。③头部存储厂商在技术、产能、市场份额等方面具有较大优势，占据着市场的主导地位。2023年TOP3企业分别为三星集团、铠侠股份有限公司、西部数据公司，市场份额合计达69.1%。随着新的竞争者不断涌现，市场竞争也在不断加剧^[15]。④传统应用领域

需求稳定，如固态硬盘（SSD）、USB闪存盘、存储卡、智能手机、平板电脑等，此外，智能手机的存储容量不断提升，对NAND Flash的需求也在增加^[16]；新兴应用领域带来新机遇，AI、物联网、汽车电子等新兴应用领域对NAND Flash的需求在不断增长，为NAND Flash带来了新的市场机遇。

（三）HBM

HBM是一种基于3D堆栈工艺的高性能DRAM^[17]（见图1），具有高性能、高带宽、高容量、低功耗、高可靠性的图形处理器内存，是当前GPU存储单元的理想解决方案，并被广泛应用于高性能计算、AI和图形处理等领域。①随着AI、机器学习

表2 主要存储芯片厂商对比

公司	市场份额	制程
SK海力士	34.7% DRAM	10 nm
	19.1% NANA Flash	（第六代）
	53% HBM	
三星集团	41.4% DRAM	10 nm
	32.7% NANA Flash	（第五代）
	38% HBM	
美光科技有限公司	22.2% DRAM	10 nm
	14.2% NANA Flash	（第三代）
	9% HBM	
长鑫存储技术有限公司	不足5% DRAM，国内第一	10 nm（第二代）
晋华集成电路有限公司	份额较小	32 nm
紫光国芯半导体股份有限公司	份额较小，国内第二	12 nm
旺宏电子股份有限公司	24% NOR Flash	45 nm
优尼森电子有限公司	—	50 nm
南亚科技股份有限公司	1.9% DRAM	10 nm（第五代）
长江存储科技有限责任公司	10% NANA Flash	12 nm国内第一

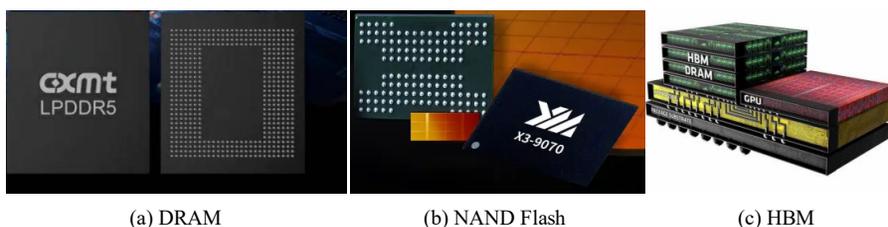


图1 高性能芯片产品

习、高性能计算等领域的快速发展，以及全球范围内数据中心的大规模建设和升级，对高带宽、低延迟的存储需求急剧增加。多家咨询机构预测，全球 HBM 市场将迎来快速发展期。从 2024 年到 2029 年，全球 HBM 市场规模预计将从 25.2 亿美元激增至 79.5 亿美元，复合年增长率高达 25.86%。

② 随着相应技术的发展，性能也在不断突破。SK 海力士已实现 12 层 HBM3E 量产；下一代的 HBM4 预计将在带宽和性能上有更显著的提升，能效比提高 40%，延迟降低 10%，与先进封装技术的结合成为未来的发展趋势^[18]。如台湾积体电路制造股份有限公司的 CoWoS 技术、三星集团的 3D 封装技术等。

③ 目前 HBM 市场由 SK 海力士、三星电子和美光科技三大厂商垄断，在短期内难以改变。

④ HBM 的发展壮大，带动上游相关互联网协议地址（IP）解决方案、材料和设备供应商的技术和产品不断升级；并根据下游的 AI 芯片厂商、数据中心运营商等的需求，进一步推动技术的发展和优化升级。

四、我国高性能存储芯片发展现状及面临的挑战

（一）整体发展情况

当前，我国高性能存储芯片的技术水平与国际先进企业存在一定差距，面对高度集中的市场格局，市场规模较小，缺乏技术积累，低端重复竞争严重。头部企业如长鑫存储技术有限公司在 DRAM 和 NAND 市场份额均不足 5%，长江存储科技有限责任公司在全球存储芯片市场的份额为 10% 左右，HBM 的市场份额为 0；产业链上游在高端生产设备、原材料等方面高度依赖进口；中游生产工艺、芯片设计、封装测试的技术研发和创新能力有待提升。

同时，我们也看到，国内厂商在部分领域实现了突破，逐步缩小与国外的差距：长江存储科技有限责任公司实现了 128 层 3D NAND 存储芯片（见图 1）；长鑫存储技术有限公司实现了国产 LPDDR5 产品从 0 到 1 的突破；基本形成了完整的存储产业链，以及长江三角洲、珠江三角洲、京津环渤海与中西部四大主要产业集群^[19]。随着大批高端人才回国发展，国内企业将逐步积累自主知识产权和核心技术，存储芯片的自给率将进一步提升。

（二）典型领域发展现状

1. DRAM

DRAM 的主要需求是智能手机，而我国拥有全球最大的智能手机市场，随着第五代移动通信网络的部署和智能手机功能的不断增强，对高性能 DRAM 的需求也将持续增长^[20]。同时，随着数据中心建设的不断扩张，也为高容量和高性能 DRAM 提供了强劲的需求动力。

国内厂商，如长鑫存储技术有限公司在 2019 年实现了国产 19 nm 的第四代同步动态随机存取存储器（DDR4）、第四代面向移动设备的低功耗内存（LPDDR4）量产，成为全球第四家掌握 20 nm 以下制程的生产制造商；2023 年推出的第五代面向移动设备的低功耗内存（LPDDR5）系列产品，参数与海外原厂产品已较为接近。产业链上游的原材料供应、设备制造等环节，以及下游的应用领域都在不断发展和完善，且上游企业与 DRAM 厂商的合作日益紧密，产业链协同效应逐渐显现。

产业链的部分环节依旧依赖进口，如一些关键的设备、材料等，对国内产业的自主发展和供应链安全构成了一定的挑战；在技术的先进性、产品的稳定性和良品率等方面仍存在一定差距。此外，面对国外垄断竞争，我国企业的议价能力偏低。

2. NAND Flash

我国是 NAND Flash 的重要消费市场，消费电子、物联网、人工智能、汽车电子等都对高性能存储有极大需求。

国内企业和科研机构在新型存储技术的研发方面积极探索，如相变存储、铁电存储等；长江存储科技有限责任公司在 3D NAND Flash 技术上取得了重要突破，成功研发出 232 层 3D NAND Flash 技术，达到了世界先进水平；产业链环节上的企业不断发展，产业链协同效应逐渐显现，并逐步完善。

与国际企业相比，国内企业在技术水平、产品性能、生产规模等方面仍有一定差距，面临着较大的竞争压力。一些关键设备、材料，如光刻机、刻蚀机、高纯化学品等，仍然依赖进口，对产业的自主发展和供应链安全构成了一定挑战。

3. HBM

我国是 HBM 的重要潜在市场，随着 AI、云计算、高性能计算和数据中心等领域的快速发展，对 HBM 的需求不断增加^[21]。此外，由于国际形势的

不确定性和半导体产业的战略重要性，我国对 HBM 的国产替代需求迫切。

国内一些存储芯片企业和相关产业链企业积极布局 HBM 领域。除了长鑫存储技术有限公司、长江存储科技有限责任公司等存储芯片制造商^[22]，还有雅克科技股份有限公司等材料企业，中微半导体股份有限公司、华润上华科技有限公司等也在积极开发 HBM 芯片的关键设备和工艺技术^[23]。长鑫存储技术有限公司和长江存储科技有限责任公司的子公司武汉新芯集成电路股份有限公司在 HBM 研发上取得进展，长鑫存储技术有限公司已向本国客户发送 HBM2 样品，武汉新芯集成电路股份有限公司计划建成月产 2000 片 12" HBM 的晶圆工厂^[24]。

当前我国研发的 HBM 产品主要为第二代 (HBM2) 水平，与国际先进的第五代产品 (HBM3E) 相比仍有一定差距。全球市场主要由三星集团、SK 海力士、美光科技有限公司三家主导，我国企业的市场份额相对较小。

(三) 未来面临的挑战

1. 技术突破

① 缩小制程的难度增加。随着存储芯片制程的不断缩小并接近物理极限，进一步提高集成度变得愈发困难。量子隧穿效应等物理现象会影响芯片的性能和可靠性，使得在更小的尺寸下维持稳定的存储功能和高速的读写性能面临挑战。② 新型存储技术商业化面临挑战。尽管新型存储技术有诸多优势，但目前仍面临着技术成熟度不足、成本较高、与现有半导体制造工艺兼容性差等问题，难以在短时间内完全取代传统的闪存和 DRAM 技术，实现大规模的商业化应用。③ 寻找存储容量和读写速度的最佳平衡点，满足不同应用场景的需求，是存储芯片技术发展面临的重要挑战。

2. 市场竞争

① 市场竞争压力巨大。国际上三星集团、SK 海力士、美光科技有限公司等企业在技术、资金、市场份额等方面具有强大的优势，通过不断加大研发投入，推出新产品，占据了全球存储芯片市场的主要份额。对于国内的存储芯片企业来说，在技术追赶、市场拓展和客户获取等方面面临着巨大的竞争压力，需要投入大量的资源和时间才能与之竞争。② 价格波动和利润空间压缩。高性能存储芯片市场

的价格波动较为频繁，受到供需关系、技术升级、产能扩张等多种因素的影响，企业需要具备灵活的市场应对策略和成本控制能力，以应对价格波动带来的挑战^[25]。

3. 人才短缺

① 高端专业人才匮乏。高性能存储芯片是技术密集型行业，对研发人员的专业能力、创新能力和学习能力要求很高。然而，由于我国相关的高端人才培养体系还不够完善，人才培养周期较长，导致高端专业人才短缺，限制了国内高性能存储芯片企业的技术创新和产品研发速度。② 人才竞争激烈。全球范围内对高性能存储芯片领域的人才需求旺盛，国际巨头企业和新兴企业都在争夺有限的人才资源。

4. 供应链安全

① 关键材料和设备的供应限制。存储芯片制造需要大量的关键材料，如光刻胶、特种气体、硅片，以及高端的制造设备，如光刻机、刻蚀机、薄膜沉积设备等^[26]。目前，这些关键材料和设备的供应主要集中在少数几家国际供应商手中，国内企业在这方面的自主供应能力较弱。② 供应链的协同和管理难。高性能存储芯片产业链较长，涉及设计、制造、封装、测试等多个环节^[27]，需要上下游企业之间的紧密协同和高效管理^[28]。然而，由于不同企业之间的技术水平、生产能力和管理模式存在差异，供应链的协同和管理难度较大。

5. 知识产权保护

① 国际专利壁垒高，国际存储芯片企业拥有大量的核心技术专利，形成了严密的专利壁垒。国内企业在技术研发和产品创新过程中，容易受到专利侵权指控，或需要支付高额的专利授权费用，增加了企业的研发成本和市场拓展难度。② 知识产权保护意识不足，存在着技术泄露、模仿抄袭等问题，不仅会损害企业自身利益，也影响了整个行业的创新环境和发展秩序^[29]。

五、对策建议

当前，我国存储芯片产业发展应充分发挥新型举国体制优势，联合国内产业链优势企业协同攻关、产业合作，推动国内厂商尽快取得技术突破，全力支撑国家大数据、AI 产业发展，加强产业生态

有序建设。

（一）分层施策夯基础，变革策略求突破

针对行业上游，强化技术协同，联合国内工艺制造、核心装备攻关团队以及关键零部件上下游力量，开展攻关，基于国产技术和设备，加快建设自主可控的先进制程工艺平台，形成可信制造体系，带动制造和量测设备、半导体材料和化学品、电子设计自动化（EDA）软件等企业协同发展，加速补齐产业链。针对行业中游，鉴于我国企业在相关领域内的市场份额仍然较低，探索通过国家政府层面的大规模投资快速切入，加速国产化进程；通过产业政策支持吸引高端人才回国发展，以人才聚集逐步积累自主知识产权和核心技术；并购核心研发团队，帮助企业快速获取先进技术，提升研发能力^[30]。鼓励国产化替代应用，通过国内国际双循环的大市场，拉动存储厂商加大科研力度，提升品牌影响力，推动存储芯片行业做强做大。

（二）传统新型两手抓，多条路线齐头并进

一方面，在 DRAM 和 NAND 领域，鼓励国内企业增加重点领域的研发投入，并通过寻求专利许可、收购已退市厂商核心专利的方式加大核心技术的储备；而对于新型存储器领域，加大专利布局，突破核心技术，加速从研发到产品的成果转化速度，进而在新一轮技术革新中占据领先地位。另一方面，谋求换道发展，积极探索产业新赛道。按照技术成熟度，稳步推进技术攻关，“十五五”期间以动态随机存储标准（DDR6）为主攻方向，同时推进 HBM、MRAM、3D DRAM、相变存储器（PCM）等新型存储芯片技术发展路线。

（三）加速形成新技术布局，逐渐打破市场层垄断

严守小容量存储技术、利基存储技术阵地，扎实做好主营产品，完善产品规格，提升产品的竞争力。同时，向高层数大容量 3D NAND Flash、DDR6、HBM、MRAM 等先进存储与封装技术路线布局。减少同质竞争，突出产品特色，走专一化路线，满足特定应用领域的需求；针对应用场景，全面考虑如长周期、恶劣环境和连续工作等条件，针对性的进行硬件设计；强化产品质量、功能、价值，提升产品竞争力；突出产品的差异化和个性化

定制，适应当前不断变化的市场需求。形成垂直整合能力，鼓励部分头部企业探索延伸布局封测、制造等领域，构建完整的存储芯片垂直整合能力，即构建包括芯片设计与封装测试在内的半导体垂直整合能力，实现半导体存储品牌公司转型升级。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: January 2, 2025; **Revised date:** January 22, 2025

Corresponding author: Meng Liu is a senior engineer from Institute for Development and Planning, China Electronics Technology Group Corporation. Her major research fields include scientific and technological innovation, the new generation of information technology industry, industry of the future, etc. E-mail: mengliu@cetc.com.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on Global Trends in the Development of the Information Industry in the Future and Strategies for China to Open up New Fields and Tracks” (2023-XBZD-21)

参考文献

- [1] 卜伟海, 夏志良, 赵治国, 等. 后摩尔时代集成电路产业技术的发展趋势 [J]. 前瞻科技, 2022, 1(3): 20–41.
Bu W H, Xia Z L, Zhao Z G, et al. Development of integrated circuit industrial technologies in the post-Moore era [J]. Science and Technology Foresight, 2022, 1(3): 20–41.
- [2] 陈占良, 金龙旭, 陶宏江, 等. 高速图像压缩系统中 DDR3 控制器的实现 [J]. 电光与控制, 2016, 23(8): 85.
Chen Z L, Jin L X, Tao H J, et al. Implementation of DDR3 controller in high-speed image compression system [J]. Electronics Optics & Control, 2016, 23(8): 85.
- [3] 陈夏琳, 胡铁军, 沈国亮. 新形势下提升我国集成电路产业链安全发展质效的对策建议 [J]. 电子产品世界, 2023, 30(7): 112–116.
Chen X L, Hu T J, Shen G L. Suggestions to improve the quality and efficiency of the safe development of integrated circuit industry chain under new circumstances [J]. Electronic Engineering & Product World, 2023, 30(7): 112–116.
- [4] 邵微, 梁红波. 光刻技术的挑战和解决思路 [J]. 精细与专用化学品, 2021, 29(4): 1–4.
Shao W, Liang H B. Challenges and solutions of lithography [J]. Fine and Specialty Chemicals, 2021, 29(4): 1–4.
- [5] 李钢, 李繁荣, 程健. 应用场景需求: 驱动人工智能芯片设计发展 [J]. 前沿科学, 2018, 12(4): 37–40.
Li G, Li F R, Cheng J. Application scenario requirements: Driving the development of artificial intelligence chip design [J]. Frontier Science, 2018, 12(4): 37–40.
- [6] 孙宝德, 疏达, 付华栋, 等. 高端新材料智能制造的发展机遇与方向 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(3): 152–160.
Sun B D, Shu D, Fu H D, et al. Intelligent manufacturing for high-end new materials: Opportunities and directions [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(3): 152–160.

- [7] 孔利媛, 宋征, 朱涛. 基于光电磁混合存储与区块链技术的电子存证研究 [J]. 电子技术与软件工程, 2020 (18): 176-177.
Kong L Y, Song Z, Zhu T. Research on electronic deposit certificate based on photoelectromagnetic hybrid storage and blockchain technology [J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2020 (18): 176-177.
- [8] 张敬锋, 刘琼, 李磊. Hadoop 与 ETL 技术在视频数据中的应用 [J]. 警察技术, 2018 (5): 27-29.
Zhang J F, Liu Q, Li L. The application of hadoop and ETL technology in video data [J]. *Police Technology*, 2018 (5): 27-29.
- [9] 赛娜. 基于边缘计算的超高清 VR 实验室系统研究与设计 [J]. 广播电视信息, 2024, 31(1): 70-72.
Sai N. Research and design of ultra HD VR lab system based on edge computing [J]. *Radio & Television Information*, 2024, 31(1): 70-72.
- [10] Huang Y F, Lin B, Xu Z H, et al. Research progress on cell structure optimization based on low-voltage SRAM [J]. *Integrated Circuit Applications*, 2023, 40(3): 1-3.
- [11] 张蜀平, 郑宏宇. 电子封装技术的新进展 [J]. 电子与封装, 2004, 4(1): 3-9.
Zhang S P, Zheng H Y. New progress of electronic packaging technology [J]. *Electronics & Packaging*, 2004, 4(1): 3-9.
- [12] 迈克. 硅谷群星扮靓电子风云 [J]. 电子设计应用, 2007 (4): 136-139.
Mike. Silicon valley stars shine in the electronic world [J]. *Electronic Design & Application*, 2007 (4): 136-139.
- [13] 金健. 基于 Nand Flash 的嵌入式文件系统设计 [J]. 电脑知识与技术(学术交流), 2007, 4(22): 1053-1055.
Jin J. The design of embedded file system based on nand flash [J]. *Computer Knowledge and Technology*, 2007, 4(22): 1053-1055.
- [14] Lou P. Method for dynamic monitoring of NAND FLASH status in power collection concentrators [J]. *Digital Users*, 2019, 25(51): 95.
- [15] Liang Y. Changes in advertising strategies from the perspective of product life cycle [J]. *Journal of Guangxi University (Philosophy and Social Sciences Edition)*, 2007 (S1): 270-271.
- [16] Hu P. Micron focuses on NAND flash market, aiming for top three globally [J]. *China Integrated Circuit*, 2006 (4): 76-77.
- [17] 蒋颖昕. 基于高带宽内存的高效图计算缓存架构研究 [D]. 武汉: 华中科技大学(硕士学位论文), 2022.
Jiang Y X. Research on efficient graph computing cache architecture based on high bandwidth memory [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology (Master's thesis), 2022.
- [18] Xian F. Introduction to chip packaging technology [J]. *Semiconductor Technology*, 2004 (8): 49-52.
- [19] 张轶, 刘伟. 高新技术产业聚集效应研究 [J]. 中国商贸, 2009 (7): 159.
Zhang Y, Liu W. Study on agglomeration effect of high-tech industries [J]. *China Business & Trade*, 2009 (7): 159.
- [20] 穆强. 存储器进入后 PC 时代 [J]. 电子设计技术, 2003, 10(12): 36.
Mu Q. Memory enters post-PC era [J]. *EDN China*, 2003, 10(12): 36.
- [21] 李川, 郑浩, 王彦辉. 硅转接层高带宽存储互连通道信号完整性设计及仿真 [J]. 计算机工程与科学, 2022, 44(2): 199-206.
Li C, Zheng H, Wang Y H. Design and analysis of high-bandwidth memory channel on silicon interposer [J]. *Computer Engineering & Science*, 2022, 44(2): 199-206.
- [22] 张智祥, 王贤军, 梁洁波. 如何推动中国数据存储产业高质量发展 [J]. 中国经济报告, 2023 (1): 82-92.
Zhang Z X, Wang X J, Liang J B. How to promote the high-quality development of China's data storage industry [J]. *China Policy Review*, 2023 (1): 82-92.
- [23] 张健. 德清: 以“链长制”为抓手 [J]. 经贸实践, 2022 (11): 30.
Zhang J. Deqing: Taking “chain length system” as the starting point [J]. *Economic Practice*, 2022 (11): 30.
- [24] 王正华. “中芯国际”的发展道路——中芯国际的发展模式应该是我国集成电路企业发展的样板 [J]. 中国集成电路, 2004, 13(12): 77-81.
Wang Z H. The development path of SMIC—The development model of SMIC should be a model for the development of IC enterprises in China [J]. *China Integrated Circuit*, 2004, 13(12): 77-81.
- [25] 韩丽. 探究大宗贸易供应链对企业资金周转期的要求 [J]. 今日财富, 2024 (15): 20-22.
Han L. Research on the requirements of bulk trade supply chains for the working capital turnover period of enterprises [J]. *Today's Fortune*, 2024 (15): 20-22.
- [26] 周观平, 易宇. 新发展格局下提升中国集成电路产业链安全可控水平研究 [J]. 宏观经济研究, 2021 (11): 58-69.
Zhou G P, Yi Y. A study on improving the security and control level of China's IC industry chain under the new development pattern [J]. *Macroeconomics*, 2021 (11): 58-69.
- [27] 高青松, 刘惠玲. 全球供应链深度互嵌下芯片产业关键节点的产业链安全研究 [J]. 经济论坛, 2020 (3): 11-21.
Gao Q S, Liu H L. Research on industrial chain security of key nodes in the chip industry with deeply interconnected global supply chain [J]. *Economic Forum*, 2020 (3): 11-21.
- [28] 王明辉. 基于产业链的纵向协同创新模式研究 [J]. 现代管理科学, 2015 (8): 57-59.
Wang M H. Research on vertical collaborative innovation mode based on industrial chain [J]. *Modern Management Science*, 2015 (8): 57-59.
- [29] 曾昶. 新形势下种子管理工作中存在的问题及其对策分析 [J]. 河北农机, 2024 (5): 103-105.
Zeng C. Problems and countermeasures in seed management under the new situation [J]. *Hebei Agricultural Machinery*, 2024 (5): 103-105.
- [30] 周明智, 朱烨圣. 企业并购协同效应研究——以三一重工收购德国普茨迈斯特公司为例 [R]. 武汉: 中国会计学会高等工科院校分会学术年会, 2015.
Zhou M Z, Zhu Y S. Research on the synergy effect of enterprise mergers and acquisitions—Taking the case of Sany Heavy Industry's acquisition of Putzmeister in Germany as an example [R]. Wuhan: Academic Annual Meeting of the Higher Engineering College Branch of the Chinese Accounting Society, 2015.