

双墙阻碍算力升级，探讨四大新型存储应用

2023 年 07 月 05 日

► **传统存储难破双墙阻碍，智联时代新型存储应运而生。** AIoT、5G、智能汽车等新兴应用场景对数据存储容量、速度、功耗、成本、可靠性等层面提出更高要求。但 CPU 与存储芯片间的“性能墙”与各级存储芯片间的“存储墙”成为限制传统存储器应用于新兴领域的两座难关。基于材料介质改造或技术升级的 PCRAM、MRAM、ReRAM 和 FeRAM 四大类新型存储，或将成为未来存储器的发展趋势之一。

► **模糊外存和主存界限，PCRAM 产业化面临障碍。** PCRAM（相变存储器）通过改变温度实现相变材料电阻变化，以此为基础存储数据信息。PCRAM 目前无物理极限，厚度 2nm 的相变材料可以实现存储功能，因此可能解决存储器工艺的物理极限问题，成为未来通用的新一代半导体存储器件之一。国际厂商英特尔先后与三星、美光合作开展 PCRAM 研发，国内厂商时代全芯也已掌握研发、生产工艺和自主知识产权。但 PCRAM 对温度的高敏感度、存储密度过低、高成本、低良率等问题限制其大规模产业化，2021 年美光宣布停止基于 3D XPoint 技术产品的进一步开发。

► **MRAM 产品进入量产，eMRAM 替代 SRAM 空间大。** MRAM（磁存储器）的基本单位为磁隧道结（MTJ），Everspin 为独立式 MRAM 龙头，IBM、三星、瑞萨走在嵌入式 MRAM 技术前沿。其中，**独立式 MRAM** 目前已经应用于航空、航天、军工等对可靠性要求较高的领域，但市场规模较小。**嵌入式 MRAM** 已成功进入 MCU 嵌入式系统，并逐步替代慢速 SRAM 成为工作缓存新方案，应用于相机 CMOS 等。未来嵌入式 MRAM 更具成长空间，提速降价后有望替代 SRAM 或 eDRAM 等高速缓存，进入手机 SoC 和 CPU 等产品。

► **ReRAM 有望替代 eFlash，成长空间广阔。** ReRAM（可变电阻式存储器）以基本单位电阻变化存储数据。Data Bridge 测算 2022 年全球 ReRAM 市场规模为 6.07 亿美元，预计 2030 年有望达到 21.60 亿美元。松下、富士通等为 ReRAM 产品主要设计厂商，国内兆易创新与昕原半导体也基本实现商业化。其中，**独立式 ReRAM** 目前在工业级小容量存储得到广泛应用，并在 IoT 领域逐步替代 NOR FLASH，突破容量和读写速度后有望替代闪存进入企业级存储市场。**嵌入式 ReRAM** 目前已替代 eFlash 可用于模拟芯片内，进一步有望进入 MCU 芯片等，技术长足发展后有望进入 CPU 作为最后一级高速缓存。

► **FeRAM 研发正当时，多种优势突破传统存储限制。** FeRAM 具有非易失性、读写速度快、寿命长、功耗低、可靠性高等特点。小部分 FeRAM 产品已实现量产。但 FeRAM 存储密度较低，容量有限，无法完全取代 DRAM 与 NAND Flash，在对容量要求不高、读写速度要求高、读写频率高、使用寿命要求长的场景中拥有发展潜力。国际厂商英飞凌、富士通等已实现 FeRAM 在汽车电子的应用，国内厂商汇峰已实现 130nm 制程 FeRAM 产品小批量量产。目前 FeRAM 技术瓶颈尚在，仍需继续研究突破。

► **四种新型存储优势各异。持久性方面**，MRAM、FeRAM 较高；**存储密度方面**，FeRAM 较低，MRAM、PCM、RRAM 较高；**读写速度方面**，FeRAM 最快；**读写功耗方面**，PCM 最高，MRAM、FeRAM、RRAM 均较低；**抗辐射方面**，除 MRAM 外，其他均较高。

► **风险提示：**技术进展不及预期的风险/市场规模增速不及预期的风险

推荐

维持评级



分析师 方竞

执业证书：S0100521120004

邮箱：fangjing@mszq.com

分析师 童秋涛

执业证书：S0100522090008

邮箱：tongqiutao@mszq.com

相关研究

1. 电子行业点评：AI+智能汽车率先落地，重视板块重估值潜力-2023/07/05

2. 电子行业周报：美光财报超预期，存储周期拐点已近-2023/07/04

3. 电子行业周报：荷兰设备出口管制落地，成熟制程扩产无虞-2023/07/02

4. 电子行业 2023 年中期投资策略：AI 与电子共舞-2023/06/29

5. 电子行业周报：设备投资额稳步修复，看好设备零部件国产化机遇-2023/06/19

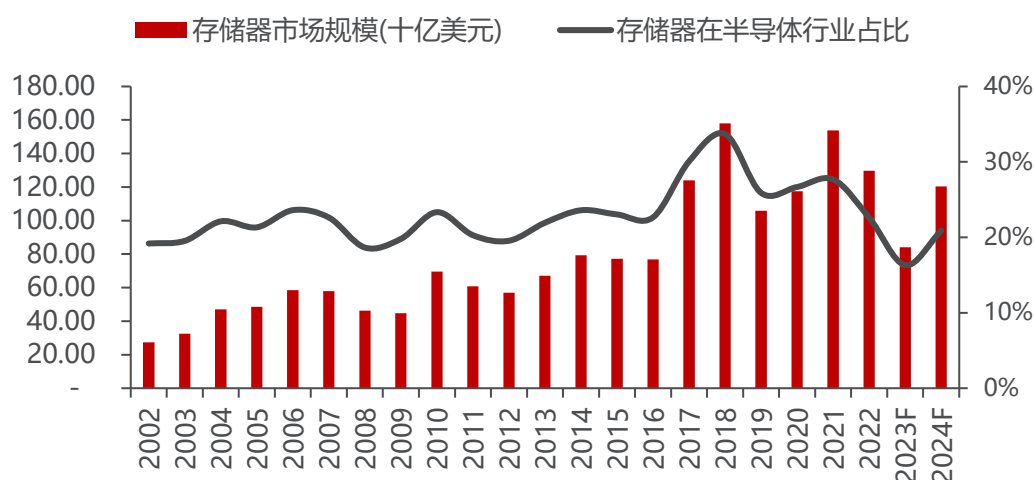
目录

| | |
|---|-----------|
| 1 传统存储难破双墙阻碍，智联时代助推新型存储 | 3 |
| 1.1 模糊外存和主存界限，PCRAM 产业化面临障碍 | 5 |
| 1.2 MRAM 产品进入量产，eMRAM 替代 SRAM 空间大 | 7 |
| 1.3 ReRAM 替代 eFlash 成长空间广阔 | 8 |
| 1.4 FeRAM 研发正当时，多种优势突破传统存储限制 | 10 |
| 1.5 四种新型存储优势各异，市场化程度也有不同 | 12 |
| 2 风险提示 | 13 |
| 插图目录 | 14 |
| 表格目录 | 14 |

1 传统存储难破双墙阻碍，智联时代助推新型存储

存储技术伴随应用场景变化，新兴领域催生更高需求。存储行业兴起于 1960s，现被广泛应用于各种领域的电子设备。据 WSTS 数据，2022 年存储器市场规模 1297.7 亿美元，占全球半导体行业规模的 22.6%，是半导体产业的重要分支。WSTS 预计 2023 年存储市场规模因终端市场需求疲软将下滑至 840.4 亿美元，但 2024 年受益于经济复苏和供需矛盾缓和，市场规模将同比上升 43%，恢复至 1203.3 亿美元。

图1：存储器市场规模及在半导体行业占比



资料来源：WSTS，民生证券研究院

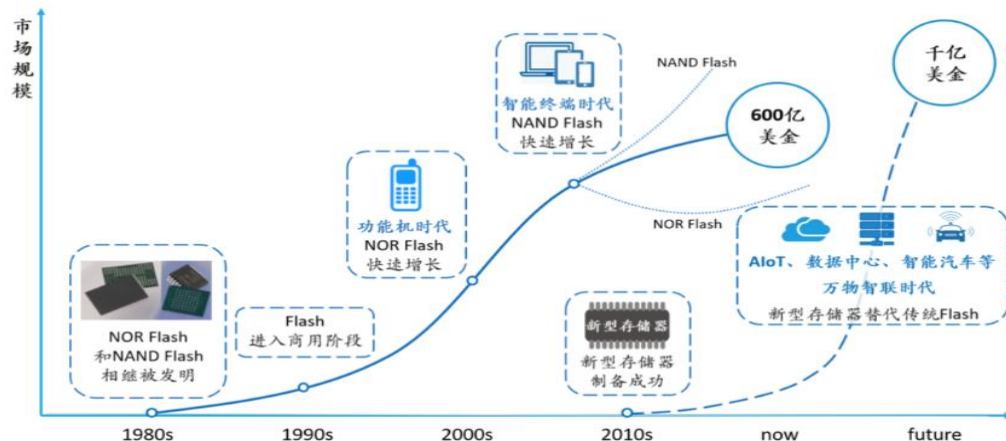
存储器技术演变路径跟随应用场景变化逐步发展：

- 上世纪 70 年代，Intel 推出第一款 DRAM 商用芯片，由于其具有读写速度快、存储密度大、成本低等优势成为存储芯片市场上的主要产品；
- 1980s，东芝提出了“闪存”概念，指可在断电情况下保留数据的非易失性存储器件。此后，读取速度快、容量小、成本高的 NOR Flash 技术与容量较大，改写速度快的 NAND Flash 结构相继于 1988 年、1989 年被 intel、东芝开发出来。至此，闪存技术开始逐渐普及，成为现代电子产品中不可或缺的重要组成部分；
- 1990s-2000s，随着进入小容量存储的功能手机时代，NOR Flash 由于具有可在闪存内直接运行应用程序的特点，有读写速度快、可靠性高、使用寿命长、传输效率高等优点，导致其应用在小容量存储中具有很高的成本效益，市场规模陡增；
- 2000s 以后，伴随智能终端的兴起，容量成为存储的主要需求之一。此时，具有高存储密度、单位容量成本低等特点的 NAND Flash 逐步成为

市场的最佳选择。

现在，随着 AIoT、5G、智能汽车等新兴应用场景出现，存储行业的市场需求进一步增加，对数据存储容量、速度、功耗、成本、可靠性等层面提出更高要求。

图2：存储行业演变历程

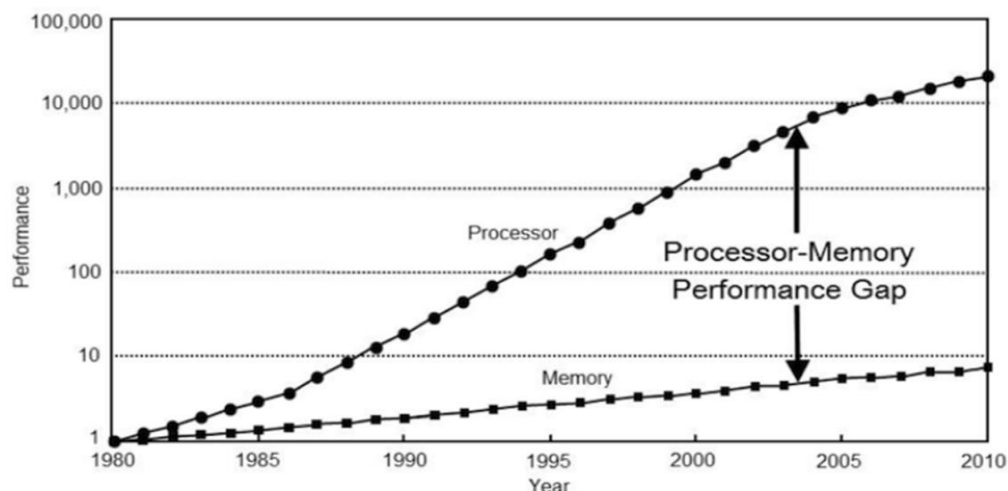


资料来源：半导体行业观察，民生证券研究院

“性能墙”与“存储墙”成为限制传统存储器应用于新兴领域的两座难关。

“性能墙”源于处理器与存储器发展失衡。随着半导体产业的发展，处理器和存储器分别走向了不同工艺路线。由于二者工艺、封装、需求的不同，从1980年到2000年，处理器性能的年增长速度约为60%，而存储器性能每年提高的幅度低于10%，导致“存-算”的失配速度以每年50%的速率增加。因此，处理器和存储器之间出现数据交换通路狭窄现象，及由此引发的高能耗问题，二者成为存储与运算间的“性能墙”。

图3：处理器和存储器的性能差距



资料来源：Juniper Networks，民生证券研究院

“存储墙”来源于计算架构中多级存储的特性差异。现代计算系统通常采取高

速缓存(SRAM)、主存(DRAM)、外部存储(NAND Flash)的三级存储结构。由于各级存储的应用特性不同,三级架构间均存在较大的响应时间及传输带宽差距,形成了制约系统性能的“存储墙”。其中,靠近运算控制单元的存储器需要响应速度更快,但受到功耗、散热等因素制约,其存储容量也越小,例如 SRAM 响应时间在纳秒级, NAND Flash 则仅为 100 微秒级,但后者的存储容量较大,造价低廉,且具备非易失的低功耗特性,适用于长期存储海量信息。随着新兴应用下处理器的速度和核数持续增加,“存储墙”成为制约处理器性能发挥的主要因素之一。

图4: 常见的存储系统架构及存储墙



资料来源: 中国电子报, 民生证券研究院

受益于万物智联时代的新兴应用发展,由于传统存储器存在“性能墙”和“存储墙”问题,新型存储器的研发和产业化逐渐进入历史舞台。基于材料介质改造或技术升级,出现 PCRAM、MRAM、ReRAM 和 FeRAM 四大类型的新型存储,我们将于下文中逐一探讨。

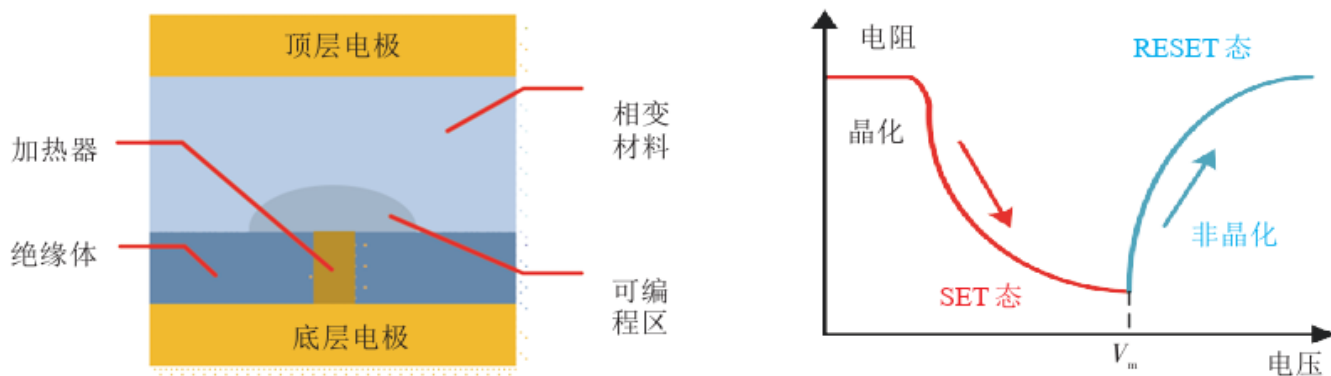
1.1 模糊外存和主存界限, PCRAM 产业化面临障碍

以相变材料为存储介质的新型存储——PCRAM。PCRAM (相变存储器)的原理是通过改变温度,让相变材料在结晶态(导电)与非结晶态(非导电)状态间相互转换,并利用两个状态的导电性差异来区分“0”态和“1”态,从而实现数据存储。PCRAM 具有外存 NAND Flash 的非易失性,以及主存 DRAM 高读写速度和长寿命的特点,同时兼具低延时、密度高、功耗低、可兼容 CMOS 工艺等优点,具有将外存和主存合二为一的可能性,未来有望应用于高性能数据中心、服务器、物联网等场景。

此外,目前 PCRAM 还未发现有明确的物理极限,研究表明即使相变材料降

至 2nm 厚度，存储器件依旧可以发生相变。因此，PCRAM 可能解决存储器工艺的物理极限问题，成为未来通用的新一代半导体存储器件之一。

图5：PCRAM 结构图（左图）和工作时电阻-电压曲线（右图）

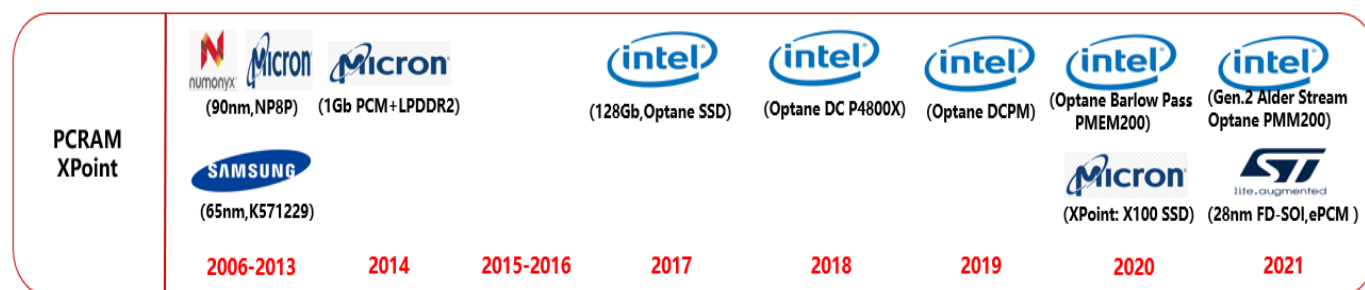


资料来源：《基于新型忆阻器的存内计算》作者：林钰登，高 滨，王小虎，钱 鹤，吴华强等，民生证券研究院

PCRAM 在 1968 年被提出，现代半导体工艺技术助力发展。在 1968 年，Stanford Ovshinsky 首次提出了基于相变理论的存储器，阐述了非晶体和晶体状态下，材料会呈现不同的光学和电阻特性，可用于代表“0”和“1”来存储数据。但由于过去半导体工艺的限制，造成相变单元所需驱动电流过大，导致早期的相变存储器没有赢得太多青睐。而后，得益于半导体加工工艺的进步，使具有较小的驱动电流器件成为可能，迎来了 PCRAM 的发展契机。

PCRAM 作为新型存储产业化的先行者，国内外厂商争相布局。2006 年，Intel 和 Samsung 生产第一款商用 PCRAM 芯片。2015 年，Intel 和 Micron 合作开发名为 3D XPoint 的 PCRAM 存储技术。2019 年 8 月，时代全芯发布国内首款 PCRAM 产品——2 兆位可编程只读相变存储器，成为继 Micron、Samsung 后少数掌握相变存储器研发、生产工艺和自主知识产权的公司。

图6：PCRAM 的技术布局



资料来源：SISPAD 2021 Plenary Talk，民生证券研究院

然而，2018 年 Intel 和 Micron 结束了 3D XPoint 的联合开发工作，此后 Micron 于 2021 年宣布停止基于 3D XPoint 技术产品的进一步开发。至此，PCRAM 的产业化陷入困境。

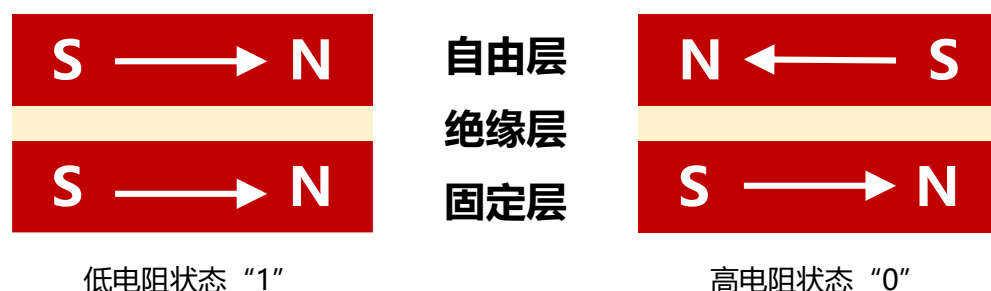
PCRAM 现阶段具有较多应用瓶颈，致使商业化停滞。首先，由于 PCRAM 存

储过程依赖温度调节,具有对温度的高敏感度,导致其无法应用于宽温场景。其次,PCRAM 存储器采取多层结构,以具备兼容 CMOS 工艺的特点,致使存储密度过低,无法满足替代 NAND Flash 的容量条件。此外,成本和良率也成为其大规模产业化的瓶颈之一。

1.2 MRAM 产品进入量产, eMRAM 替代 SRAM 空间大

磁存储器 (MRAM) 的基本单位为磁隧道结 (MTJ)。 MTJ 由一对被薄绝缘材料层隔开的铁磁金属板组成,其中一块金属板(固定层)的磁场方向永不变化,另一块板(自由层)的磁场方向可以因外部磁场的改变而改变。MTJ 通过电阻大小表示数据,由于隧道磁阻效应,如果两个板具有相同的磁化方向(低电阻状态),则将其视为“1”,而如果方向反平行(高电阻状态),则表示“0”。但传统 MRAM 单纯用奥斯特场对普通的 MTJ 进行状态切换,存在严重的不稳定性和严苛的应用条件。

图7: 磁隧道结工作原理



资料来源: Everspin, 民生证券研究院

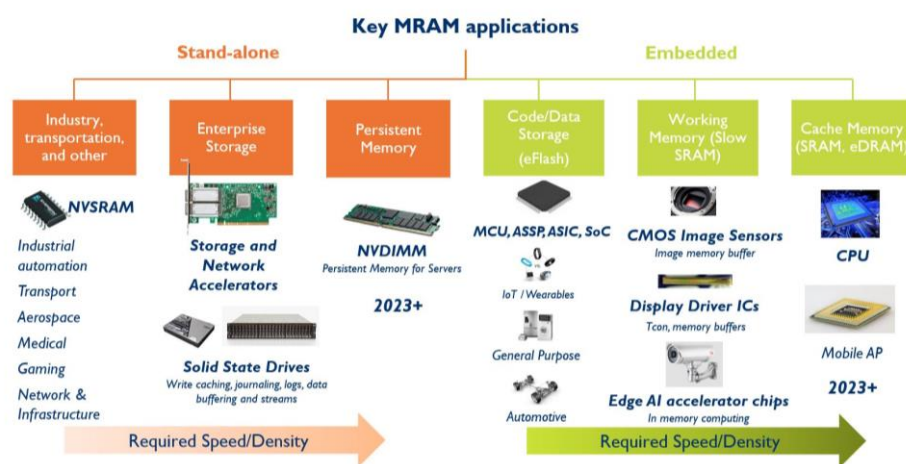
MRAM 于 1984 年发明, 后经不断改进。 1984 年, 供职于霍尼韦尔的 Arthur Pohm 与 James Daughton 发明了首个磁存储器。由于对环境条件敏感等问题, 对 MRAM 的改进从未停止。1996 年 10 月, Berger 和 Slonczewski 不约而同地提出了 STT-MRAM 方案。2000 年 Spintec 实验室获得首个 STT-MRAM 专利。

STT-MRAM (自旋扭矩转递) 为当前主流商业化方案。 自 2000 年 Spintec 实验室获得首个 STT 技术专利开始, STT-MRAM 凭借更快的读写速度与更小的尺度逐渐成为主流商业化方案。2005 年 11 月, 瑞萨科技与 Grandis 合作开发 65 nm 工艺的 STT-MRAM。2005 年 12 月, 索尼推出首款实验室 STT-MRAM 产品。2008 年 11 月, 三星与海力士宣布合作开发 STT-MRAM。2012 年 11 月, Everspin 首次推出 64Mb 容量的独立式 STT-MRAM 产品。2019 年 3 月, 三星 28nm 工艺的嵌入式 STT-MRAM 产品开始量产。

Everspin 为独立式 MRAM 龙头，IBM、三星、瑞萨走在嵌入式 MRAM 技术前沿。独立式 MRAM 产品主要替代闪存等作为外部存储，与闪存相比 MRAM 具有读写速度更快等优势。独立式 MRAM 市场由于容量和价格等原因，目前规模较小，属于利基型市场。Everspin 公司 2008 年剥离自飞思卡尔公司，专注于 MRAM 产品开发，目前为独立式 MRAM 产品主要供货商。2019 年 1 月，Everspin 公司推出基于 28nm 工艺容量为 1Gb 的 STT-MRAM 产品，为目前最成熟、容量最大的独立式 MRAM 量产产品。嵌入式 MRAM (eMRAM) 主要替代 SRAM 应用于嵌入式系统中，可避免因电源故障等导致的内存丢失问题。嵌入式 MRAM 目前受到各大厂商关注，2020 年 12 月 IBM 展出世界首个 14nm STT-MRAM 产品。2022 年 6 月，瑞萨宣布已开发出 22nm 嵌入式 STT-MRAM 电路技术。2022 年 10 月，三星研究人员称成功开发 14nm eMRAM。

MRAM 增长点为替代闪存与嵌入式缓存。由于价格较高，容量短时间无法赶超 NAND FLASH 等原因，独立式 MRAM 目前主要应用于工业、航空、航天、军工等对可靠性和读写速度要求较高、容量无需太大的领域。随着容量进一步提升，独立式 MRAM 产品已逐渐进入数据中心等更大规模的市场，未来随着价格下降和容量扩大有望替代 NAND FLASH 等成为主力外部存储产品。目前嵌入式 MRAM 已成功进入 MCU 嵌入式系统，并逐步替代慢速 SRAM 成为工作缓存新方案，应用于相机 CMOS 等。未来嵌入式 MRAM 提速降价后有望替代 SRAM 或 eDRAM 等高速缓存，进入手机 SoC 和 CPU 等产品。

图8：MRAM 应用方向



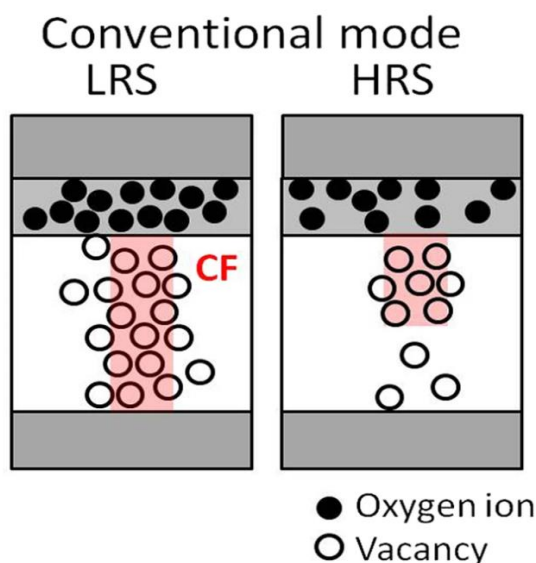
资料来源：Yole，民生证券研究院

1.3 ReRAM 替代 eFlash 成长空间广阔

可变电阻式存储器 (ReRAM) 以基本单位电阻变化存储数据。氧化层释放氧离子后产生的氧空位 (Vacancy) 与金属层中氧离子的运动共同决定了基本单位的

电阻，高低电阻分别对应“0”和“1”。

图9：ReRAM 原理图

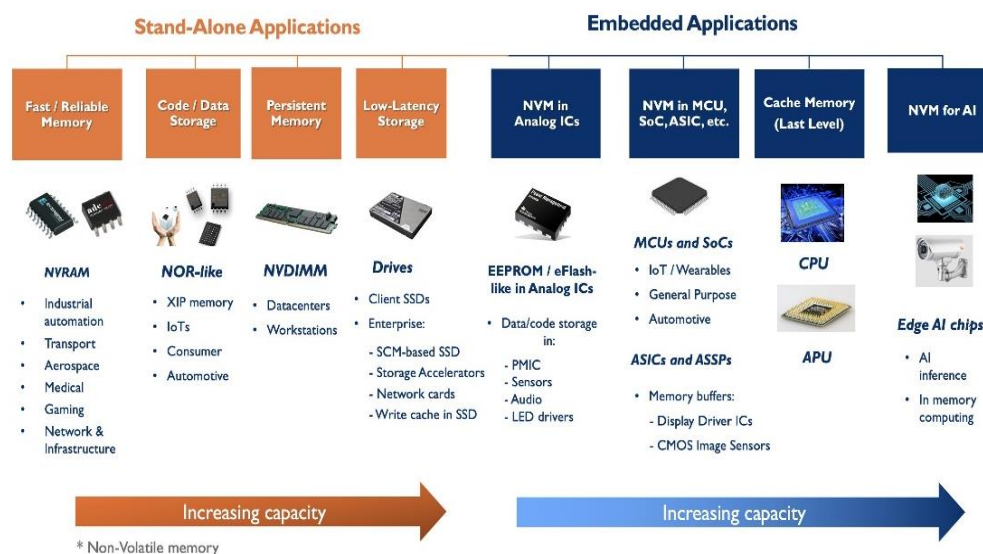


资料来源：《Investigation of switching mechanism in HfO_x-ReRAM under low power and conventional operation modes》作者 Wei Feng, Hisashi Shima, Kenji Ohmori, Hiroyuki Akinaga 等，民生证券研究院

ReRAM 市场成长性好，目前以美日厂商为主。根据 Data Bridge 测算，2022 年 ReRAM 全球市场规模约为 6.07 亿美元，2030 年有望达到 21.60 亿美元，年复合增长率达 17.20%。**国际厂商中**，松下、富士通、Adesto、Crossbar 和 Rambus 为 ReRAM 产品主要设计厂商。**国内方面**，2018 年兆易创新与 Rambus 宣布建立合资公司，目的是实现 RRAM 技术商业化。2022 年 2 月，我国昕原半导体主导建设的国内首条具备自主知识产权的 12 英寸、28/22 纳米 ReRAM 中试生产线顺利建成。

嵌入式 ReRAM 替代 eFlash 进入模拟芯片为主要增长点，独立式替代 NOR FLASH 成长空间可期。独立式 ReRAM 在读写速度等方面不及 MRAM 和 FLASH 等技术，但价格较低，易于制造。目前独立式 ReRAM 在工业级小容量存储得到广泛应用，并在 IoT 领域逐步替代 NOR FLASH。随着容量进一步提升和读写速度的突破，独立式 ReRAM 有望替代闪存进入企业级存储市场。**嵌入式 ReRAM** 按位寻址、对辐射和电磁场的高耐受性和较低的功耗等优点有效解决了目前嵌入式闪存 (eFlash) 在模拟芯片、医疗和工业以及 IoT 等领域面临的问题，目前已替代 eFlash 可用于音频芯片、LED 驱动芯片等模拟芯片市场，在技术得到进一步验证后有望进入 MCU 芯片等。随着技术进一步发展，ReRAM 有望进入 CPU 作为最后一级高速缓存。

图10: ReRAM 应用场景



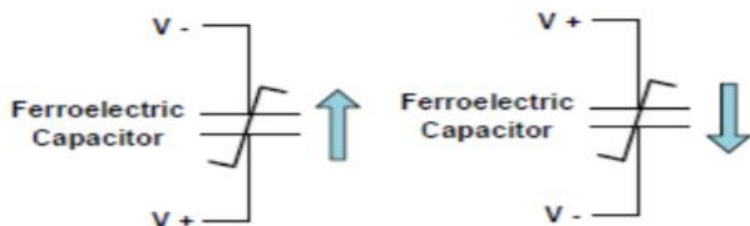
资料来源: Yole, 民生证券研究院

1.4 FeRAM 研发正当时，多种优势突破传统存储限制

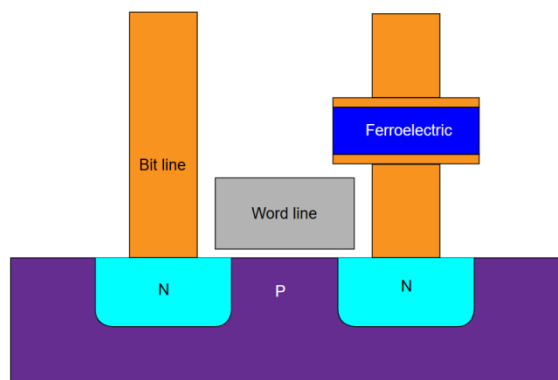
FeRAM 是一种断电时可以保存数据的非易失存储器，存储机制和铁磁存储的滞后行为类似。当一个电场被施加到铁晶体管时，中心原子顺着电场停在低能量状态 I 位置，反之，当电场反转被施加到同一铁晶体管时，中心原子顺着电场的方向在晶体里移动并停在另一低能量状态 II，大量中心原子在晶体单胞中移动耦合形成铁电畴，铁电畴在电场作用下形成极化电荷。铁电畴在电场下反转所形成的极化电荷较高，铁电畴在电场下无反转所形成的极化电荷较低，这两种反差状态可以被记作“1”或“0”，FeRAM 可以用二进制的方式来存储数据。

FeRAM 具有非易失性、读写速度快、寿命长、功耗低、可靠性高等特点。FeRAM 读写速度快；寿命长，可重复读写，重复次数可达到万亿次；功耗低，待机电流低，无需后备电池或采用充电泵电路；更加可靠，兼容 CMOS 工艺，工作温度范围宽，可靠性高。FeRAM 既有 ROM 的非易失性数据存储特性，又有 RAM 的无限次读写、高速读写以及低功耗等特性，多种优势加持，正在成为存储器未来发展方向之一。

图11: FeRAM 工作原理示意图



资料来源: 维基百科, 民生证券研究院

图12: FeRAM 工作原理示意图


资料来源：维基百科，民生证券研究院

FeRAM 最早在麻省理工大学达德利·艾伦·巴克在 1952 年提出的硕士论文中被提及，论文中提到，FeRAM 有比闪存更低的耗电量、更高的写入速度、更长的读写寿命等优势。由于存算一体的特性和诸多优势，FeRAM 成为新型存储的主流产品之一。1993 年 Ramtron 公司推出 4Kb FeRAM 产品，为全球首款可量产 FeRAM 产品，此后，FeRAM 的更多研发和应用开启新篇章。

FeRAM 小部分产品实现量产，潜力可见度提高。根据新思界产业研究中心发布的《2022-2027 年中国 FRAM（铁电存储器）行业市场深度调研及发展前景预测报告》，**FRAM 存储密度较低，容量有限，无法完全取代 DRAM 与 NAND Flash，但在对容量要求不高、读写速度要求高、读写频率高、使用寿命要求长的场景中拥有发展潜力。**在消费电子领域中，可以用于智能手表、智能卡以及物联网设备制造；汽车领域中，可以用于高级驾驶辅助系统（ADAS）制造；在工业机器人领域中，可以用于控制系统制造等诸多领域。

国内外多家厂商正在积极研发 FeRAM 存储器，台积电正在探索铁电薄膜和堆叠及其可控性、状态保持性、持久性和可扩展性，以实现与先进 CMOS 技术集成的高密度、高容量数字存储器；国内拍字节、汇峰等企业也正在积极研究并助推以 HfO₂ 为镀膜的 FeRAM 的产业化落地，拍字节目前还在实验室研发阶段有望量产，**汇峰目前已经有 130nm 制程 FeRAM 产品可以实现小批量量产。**并且，已有部分 FeRAM 存储器成功应用在汽车领域，代表公司 Ramtron 和 Symetrix、英飞凌、日本富士通半导体。

FeRAM 技术瓶颈尚在，仍需继续研究突破。当前，FeRAM 的工作模式主要包括 DRO（破坏性读出）和 NDRO（非破坏性读出）两种。在 DRO 模式中，FeRAM 读出后需重新写入数据，信息读取过程中存在着大量的擦除/重写操作，由于不断地极化反转，FeRAM 容易发生疲劳失效的问题。NDRO 模式无需使栅极的极化状态反转，读出方式是非破坏性的，是一种比较理想的存储方式，但目前这种 FeRAM 尚处于实验室研究阶段，还未达到实用层面。

1.5 四种新型存储优势各异，市场化程度也有不同

四种新型存储都能在一定程度上有效解决传统存储的“性能墙”和“存储墙”的问题，打破冯·诺依曼体系架构，实现存算一体，消除数据访存带来的延迟和功耗，实现更高的算力和能效比，但是四种新型存储的具体技术特点和商业化程度有所不同。

四种存储商业化阶段不同，MRAM 产业化程度最高。目前 MRAM 存储已进入产业化阶段，在独立式存储和嵌入式存储上均有量产，三星在 2019 年为索尼代工的卫星定位模块中使用 MRAM 技术，台积电在 2020 年集成电路设计领域 ISSCC 国际会议上发布了 32 Mb 嵌入式 STT-MRAM；其次，FeRAM 有小规模应用，汇峰目前已经有 130nm 制程 FeRAM 产品可实现小批量量产；PCRAM 主要在混合固态盘和持久内存方面有少量应用，2015 年英特尔与美光联合研发的 128 Gb 3D Xpoint 芯片是目前唯一大规模商用的 PCM 产品；RRAM 目前商业化还未真正落地。

在寿命、读写速度、功耗、抗辐射方面，四种存储各有优势。持久性方面，MRAM、FeRAM 较高；存储密度方面，FeRAM 较低，MRAM、PCRAM、RRAM 较高；读写速度方面，FeRAM 最快；读写功耗方面，PCRAM 最高，MRAM、FeRAM、RRAM 均较低；抗辐射方面，除 MRAM 外，其他均较高。

表1：四种新型存储性能对比

| 存储芯片类型 | PCRAM | MRAM | ReRAM | FeRAM |
|--------|-------|------|-------|-------|
| 持久性 | 中 | 高 | 中 | 高 |
| 存储密度 | 高 | 高 | 高 | 低 |
| 读速度 | 中 | 快 | 快 | 快 |
| 读功耗 | 低 | 低 | 低 | 低 |
| 写速度 | 快 | 快 | 中 | 快 |
| 写功耗 | 高 | 低 | 低 | 低 |
| 抗辐射 | 强 | 弱 | 强 | 强 |

资料来源：半导体行业观察，永鑫行研，民生证券研究院

2 风险提示

1) 技术进展不及预期的风险。目前新型存储技术研发主要依靠海外厂商投入，若应用市场需求有限，厂商投入动力不足，将影响产业化进展。

2) 市场规模增速不及预期的风险。新型存储技术目前仍在探索阶段，尚未被完全规模化，若技术被验证无法用于替代目前主流存储产品，市场规模增速不及预期。

插图目录

| | |
|--|----|
| 图 1: 存储器市场规模及在半导体行业占比 | 3 |
| 图 2: 存储行业演变历程 | 4 |
| 图 3: 处理器和存储器的性能差距 | 4 |
| 图 4: 常见的存储系统架构及存储墙 | 5 |
| 图 5: PCRAM 结构图 (左图) 和工作时电阻-电压曲线 (右图) | 6 |
| 图 6: PCRAM 的技术布局 | 6 |
| 图 7: 磁隧道结工作原理 | 7 |
| 图 8: MRAM 应用方向 | 8 |
| 图 9: ReRAM 原理图 | 9 |
| 图 10: ReRAM 应用场景 | 10 |
| 图 11: FeRAM 工作原理示意图 | 10 |
| 图 12: FeRAM 工作原理示意图 | 11 |

表格目录

| | |
|-----------------------|----|
| 表 1: 四种新型存储性能对比 | 12 |
|-----------------------|----|

分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并登记为注册分析师，基于认真审慎的工作态度、专业严谨的研究方法与分析逻辑得出研究结论，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。本报告清晰准确地反映了研究人员的研究观点，结论不受任何第三方的授意、影响，研究人员不曾因、不因、也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

评级说明

| 投资建议评级标准 | | 评级 | 说明 |
|---|------|------|---------------------|
| 以报告发布日后的 12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中：A 股以沪深 300 指数为基准；新三板以三板成指或三板做市指数为基准；港股以恒生指数为基准；美股以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准。 | 公司评级 | 推荐 | 相对基准指数涨幅 15%以上 |
| | | 谨慎推荐 | 相对基准指数涨幅 5% ~ 15%之间 |
| | | 中性 | 相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间 |
| | | 回避 | 相对基准指数跌幅 5%以上 |
| | 行业评级 | 推荐 | 相对基准指数涨幅 5%以上 |
| | | 中性 | 相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间 |
| | | 回避 | 相对基准指数跌幅 5%以上 |

免责声明

民生证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。

本报告仅供本公司境内客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告仅为参考之用，并不构成对客户的投资建议，不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，客户应当充分考虑自身特定状况，不应单纯依靠本报告所载的内容而取代个人的独立判断。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容而导致的任何可能的损失负任何责任。

本报告是基于已公开信息撰写，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，且预测方法及结果存在一定程度局限性。在不同时期，本公司可发出与本报告所刊载的意见、预测不一致的报告，但本公司没有义务和责任及时更新本报告所涉及的内容并通知客户。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问、咨询服务等相关服务，本公司的员工可能担任本报告所提及的公司的董事。客户应充分考虑可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一参考依据。

若本公司以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构独自为此发送行为负责。该机构的客户应联系该机构以交易本报告提及的证券或要求获悉更详细的信息。本报告不构成本公司向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议。本公司不会因任何机构或个人从其他机构获得本报告而将其视为本公司客户。

本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、转载、发表、篡改或引用。所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记，除非另有说明，均为本公司的商标、服务标识及标记。本公司版权所有并保留一切权利。

民生证券研究院：

上海：上海市浦东新区浦明路 8 号财富金融广场 1 幢 5F； 200120

北京：北京市东城区建国门内大街 28 号民生金融中心 A 座 18 层； 100005

深圳：广东省深圳市福田区益田路 6001 号太平金融大厦 32 层 05 单元； 518026