

## 非易失内存技术研究综述

**摘要** 内存是计算机系统结构中不可缺少的重要核心部件，它是外存与 CPU 进行沟通的重要桥梁。内存最重要的作用就是在计算机运行过程中暂存数据及指令，内存的性能将直接影响计算机运行速度。随着互联网时代的到来，计算机处理数据的规模持续增大，同时业务中一致性要求使得计算机需要进行频繁的外存读写，外存的读写速度成为了计算机系统性能提高的瓶颈。非易失内存技术使用非易失性存储器将内存改造成高速大容量低成本不易失存储器，可以使得写入外部存储的 I/O 操作减少甚至消失，提高计算机整体运行速度。本文综述了非易失性内存技术的研究方向，展望了非易失内存技术的发展趋势。

**Abstract** Memory is an important core component that cannot be deleted in the computer system structure. It is an important memory that communicates with the CPU. The most important function of memory is to temporarily store data and instructions during the running of the computer. The performance of the memory will directly affect the running speed of the computer. With the advent of the Internet age, the duration of data processing by computers, and at the same time the external queues in the system require children to store and write their children's business, and the writing speed of external storage has become the end of performance improvement. Volatile memory technology uses volatile storage to transform the memory into high-speed, large-capacity, non-lost storage, which can be written to external I/O operations and even improves the overall operating speed of the computer. This article has not been published. The research direction of volatile memory technology looks forward to the development trend of non-volatile memory technology.

**关键词** 非易失存储器，持久存储器，存储器层次结构

### 1. 引言

在大数据时代，数据密集型应用场景越来越多，使用 DRAM 的传统大内存系统在读写速度、功耗、存储密度等方面面临巨大挑战。同时，DRAM 的发展速度也在不断减缓，目前为止，先进的 DRAM 器件大都基于 15nm-18nm 工艺，而 DRAM 的物理极限约为 10nm，虽然各大厂商在努力突破这一极限，但收效甚微，只能逐步细化制程工艺。此外，数据对于公司的重要性快速上升，日益成为公司的实际资产，特别是对于很多中小公司来说，丢失数据可

能就要遭受巨大的损失。

非易失性内存 (NVMM) 的出现, 为解决当前的困境提供了一个解决方案。非易失性内存可以提供更快的读写速度, 更低的功耗, 更大的存储密度, 以及对数据持久化保存的能力, 很好的解决了当前 DRAM 面临的困境。非易失内存主要有以下两种类型, 只读内存 (ROM) 和闪存 (FLASH)。目前主流的非易失性内存方案采用的是闪存, 包括 NAND 和 NOR 两种架构。其中 3D NAND 是当前市场上最主流的产品。此外, 阻变存储器、相变存储器、自旋矩存储器等技术也在快速发展, 有望取代闪存。

非易失内存的发展大致可以分为三个阶段, 最初业界厂商通过为内存添加锂电池, 可以在断电情况下保护内存中的数据 72 小时不丢失; 后来为了使数据实现永久保存, 又提出了超级电容加闪存的模式, 断电时可以将内存中的数据写入到闪存芯片中实现永久保存; 随着新型的非易失性存储器的出现, 整合了闪存和 DRAM 的部分特性, 无需额外接入电源即可实现非易失性, 是未来发展的潮流。目前非易失内存的主流方案是 DRAM 和闪存相结合的方式, 当断电发生时, 利用超级电容提供数据从 DRAM 转移到闪存中所需的能量。

## 2. 非易失内存的发展情况

使用非易失存储器替代 DRAM 是未来发展的方向, 与需要添加额外电源的方案相比, 使用非易失存储器有着更多的优点, 必将成为未来非易失内存的发展潮流。目前, 主流的非易失存储器有相变存储器, 阻变存储器, 阻抗存储器等等。

相变随机存储器 (PCRAM) 是最成熟的新型非易失性存储器技术, 2015 至 2018 年间已实现商业化。它利用材料的可逆转的相变来存储信息。同一物质可以在诸如固体、液体、气体、冷凝物和等离子体等状态下存在, 这些状态都称为相。相变存储器便是利用特殊材料在不同相间的电阻差异进行工作的。相变随机存储器的优点是访存时间短, 并且具有字节可寻址特性, 其写延迟约为 DRAM 的 10 倍。2019 年深圳大学饶峰教授提出了一种新式的相变异质结 (PCH) 设计, 将相变产生的阻值波动降低到前所未有的水平。

磁阻式随机存取内存技术将阻变存储器用于内存中, 与 DRAM 不同, 磁阻式随机存取内存 (MRAM) 中的数据不作为电荷或电流流动存储, 而是由磁存储元件存储, 利用磁体间的磁化电阻状态 (巨磁阻效应) 来记录数据。它具有闪存的非易失性, 并且存储密度及使用寿命不输 DRAM, 而平均能耗远低于 DRAM。

最具有未来发展前景的是非易失性阻抗存储器 (RRAM), 它是由忆阻器

组成的存储器，顾名思义，它可以记住上一个状态的电阻，利用电阻的阻值来表达信息。显然，非易失性阻抗存储器具有关闭电源后仍可以保存信息的能力，并且可以实现即开即用，无需加载数据，且写入信息速度比闪存快 1 万倍。同时，忆阻器的制程可以达到几纳米，是下一代非易失技术的主要方向。

同时，今年国内以二维原子晶体及其异质结构为基础研发的非易失性存储器也取得了一定的进展，中国科学院院士、中科院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心研究员高鸿钧研究团队博士研究生吴良妹和副研究员鲍丽宏等，利用二维范德瓦尔斯异质结的原子级锐利界面及增强的界面耦合特性，无须修改商用的器件结构，首次构筑了超快、非易失浮栅存储器件，实现了其纳秒级（~20 ns）的读写时间、极高的擦除/写入比（~10<sup>10</sup>）和极长的存储时间（10 年以上）。

### 3. 总结和展望

在大数据的时代，用户对计算机性能的需求不断提升，容量更高，速度更快，功耗更低的非易失性内存是始终的追求，它可以帮助突破当前系统结构下计算机性能的瓶颈，将数据保存在速度更快的内存而不是外存中。

虽然通过给 DRAM 外加电源与闪存的方式，可以实现非易失性内存，但这种方案下仍然使用 DRAM 作为内存的主要结构，且有闪存读写不方便，未提升内存整体运行速度等缺点。采用新型非易失性存储器作为内存是未来发展的潮流，将大大加快内存的容量和读写速度，使得非易失性内存可以彻底取代外存，大大提升计算机运行速度。

## 参考文献

- [1] 傅耀威, 丁莹, 薛堪豪, 安萌, 刘庭煜. 非易失半导体存储器技术发展状况浅析[J]. 科技中国, 2021 (4): 38-40.
- [2] 吴丽芳. 非易失性存储发展现状及展望[J]. 电脑知识与技术: 学术交流, 2016 (8): 229-231.
- [3] Liu H K, Chen D, Jin H, et al. A Survey of Non-Volatile Main Memory Technologies: State-of-the-Arts, Practices, and Future Directions[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2021, 36(1): 4-32.
- [4] Wu L, Wang A, Shi J, et al. Atomically sharp interface enabled ultrahigh-speed non-volatile memory devices[J]. Nature Nanotechnology, 2021: 1-6.
- [5] Ding K, Wang J, Zhou Y, et al. Phase-change heterostructure enables ultralow noise and drift for memory operation[J]. Science, 2019, 366(6462): 210-215.
- [6] 舒继武, 陆游游, 张佳程, 等. 基于非易失性存储器的存储系统技术研究进展[J]. 科技导报, 2016, 34(14): 86-94.
- [7] 刘昊. 面向非易失性内存的系统软件若干问题的研究[D]. 上海交通大学, 2018.
- [8] 陈怡然, 赵巍胜, 孙振宇, 等. 新型非易失性存储器[J]. 现代物理知识, 2015 (1): 41-46.
- [9] 赵鸿滨, 屠海令, 杜军. 非易失性阻变存储器研究进展[J]. 稀有金属, 2012, 36(3): 491-500.
- [10] 沈志荣, 薛巍, 舒继武. 新型非易失存储研究[J]. 计算机研究与发展, 2014, 51(2): 445.