

## 非易失性半导体存储器的相变机制

非易失性存储器(NVM)在半导体市场占有重要的一席之地，特别是主要用于手机和其它便携电子设备的闪存芯片。今后几年便携电子系统对非易失性存储器的要求更高，数据存储应用需要写入速度极快的高密度存储器，而代码执行应用则要求存储器的随机访存速度更快。

经过研究人员对浮栅存储技术的坚持不懈的研究，现有闪存的技术能力在 2010 年底应该有所提升，尽管如此，现在人们越来越关注有望至少在 2020 年末以前升级到更小技术节点的新式存储器机制和材料。

目前存在多种不同的可以取代浮栅概念的存储机制，相变存储器（PCM）就是其中一个最被业界看好的非易失性存储器，具有闪存无法匹敌的读写性能和升级能力。

在室温环境中，基于第六族元素的某些金属（硫族化合物）的晶态和非晶态的稳定性非常好。特别是 GeSbTe 合金最被看好，因为它遵守一个伪二元构成方式（在 GeTe 和 Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 之间），以下简称 GST。

在基于硅的相变存储器中，不同强度的电流经过加热器（电阻），到达硫化物材料，利用局部热焦耳效应，改变接触区周围的可写入容量（图 1）。在经过强电流和快速猝灭后，材料被冷却成非晶体状态，导致电阻率增大。切换到非晶体状态通常用时不足 100ns，单元的热时间常量通常仅为几纳秒。若恢复接触区的晶体状态，使材料的电阻率变小，需要施加中等强度的电流，脉冲时间较长。存储单元写入操作所用的不同电流产生了存储器的直接写入特性。这种直接写入功能可简化存储器的写入操作，提高写入性能。

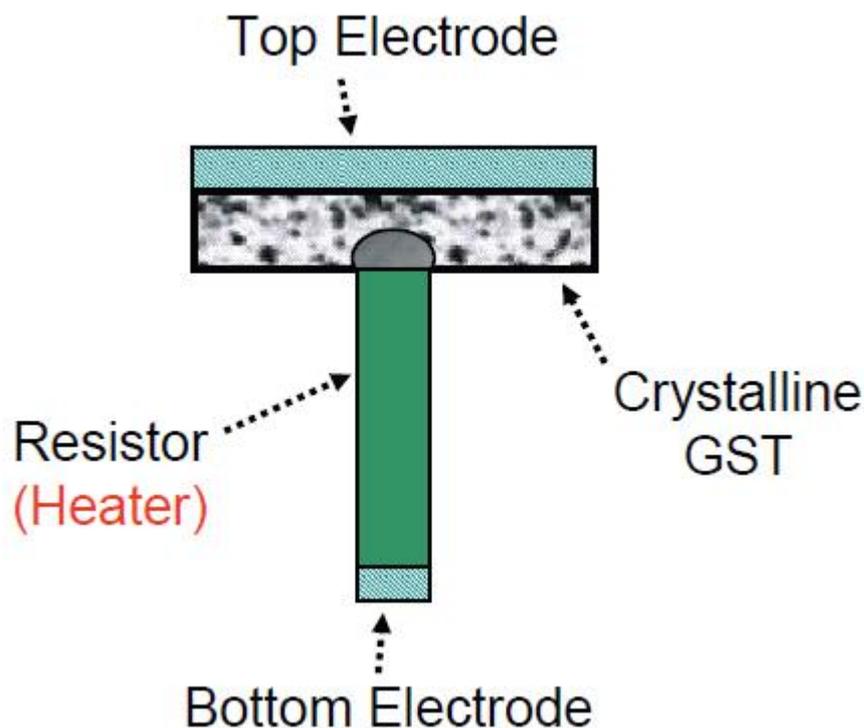


图 1a: PCM 存储元件的横截面原理图

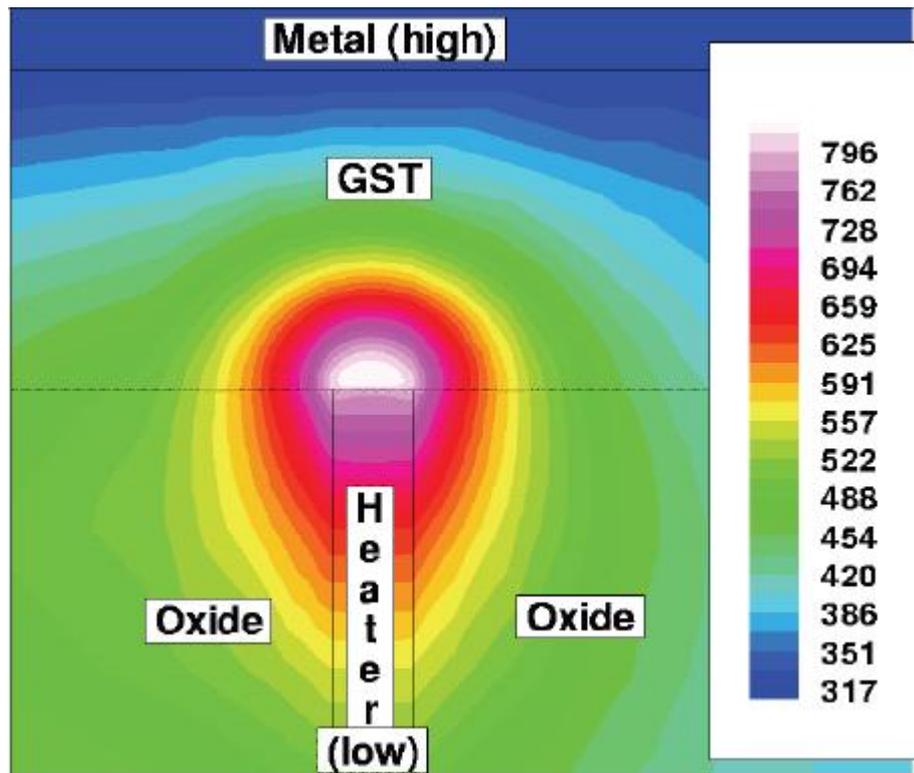


图 1b: 写入操作过程中的模拟温度曲线图

使用比写入电流低很多的且无重要的焦耳热效应的电流读取存储器，从而可以区别高电阻（非晶体）和低电阻（晶体）状态。

PCM 被业界看好是因为两大原因。第一原因是存储器功能性增强：这些改进之处包括更短的随机访存时间、更快的读写速度，以及直接写入、位粒度和高耐读写能力。整合今天的闪存和快速动态随机访问存储器（DRAM）的部分特性，PCM 技术将存储器的功能提升到一个新的水平，最终不仅可以取代闪存，还能替代 DRAM 的部分用处，如常用操作码保存和高性能磁盘缓存（图 2）。

Attributes	PCM	DRAM	NAND	NOR
Scaling	Longest Term	32nm	25nm	32nm
Bit Alterable	Yes	Yes	No	No
Non-Volatile	Yes	No	Yes	Yes
Random Read	~NOR	50ns	25000ns	100ns
Write Speed	>5MB/s	100MB/s	>10MB/s	1MB/s
Endurance	10 <sup>6+</sup>	Unlimited	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
Power	~Flash	High	Low	Low
Data Retention	Cycling Independent	ms	F (cycles)	F (cycles)

图2: 存储技术属性比较

存储单元小和制造工艺可以升级是让人们看好 PCM 的第二大理由。相变物理性质显示制程有望升级到 5 nm 节点以下，有可能把闪存确立的成本降低和密度提高的速度延续到下一个十年期。

采用一项标准 CMOS 技术整合 PCM 概念、存储单元结构及阵列和芯片测试载具的方案已通过广泛的评估和论证。128 Mb 高密度相变存储器原型经过 90 nm 制程论证，测试表明性能和可靠性良好。根据目前已取得的制程整合结果和对 PCM 整合细节理解水平，下一个开发阶段将是采用升级技术制造千兆位 (Gbit) 级别的 PCM 存储器。