

大数据时代的新型存储器制造难题与解决方案

现代社会已经进入大数据、物联网时代——一方面，数据呈爆炸式增长，芯片就必须需要具备巨大的计算能力；另一方面，依据传统摩尔定律微缩的半导体技术所面临的挑战越来越大、需要的成本越来越高、实现的性能提高也趋于放缓。

据统计，现在一个人一天可能产生的数据大概是1GB，但一辆无人驾驶汽车一天产生的数据量是4000GB，是前者的4千倍。从去年（2018）开始，我们看到机器产生的数据已经超过了人类产生的数据，这是人类历史上的第一次。预计到2022年，机器产生的数据将会是人类产生的数据的9倍之多。而所有的数据，包括无人车、智慧城市、智能家居……等所有机器产生的数据都要从终端、边缘，通过各层传输、计算，到云端、大数据中心，然后再计算、最终返回到终端，所有过程都需要巨大的计算能力。

随着人工智能（AI）、物联网（IoT）、5G通信等技术和应用的迅速发展，数据的产生已经呈指数级增长。以前我们主要是受计算能力限制，就是受处理器限制，而过去几十年摩尔定律推动了处理器性能的极大提升，现在的计算能力更多的受限于数据在处理器和存储器之间的读取和传输。由于数据的海量增长，现有的计算架构已经无法满足进一步发展的需要，于是我们更多的关注存储器的发展。传统存储器已经限制了计算能力的提高，面临多重困难和挑战。而以MRAM、ReRAM和PCRAM为代表的新型存储器，虽然能够带来独特的优势，但由于这些存储器均采用新型材料，实现大规模量产成为了一大难题。

存储器未来如何发展

应用材料公司金属沉积产品事业部全球产品经理周春明博士说：“DRAM、SRAM、NAND这些传统的存储器，已经有几十年历史了，虽然现在它们还在一直在向前发展，不断更新换代，尺寸越来越小，成本越来越低，性能越来越强。但是，全新的存储器MRAM，ReRAM，PCRAM，相对于传统存储器来说，具有很多方面独特的优势，能够在计算系统层级实现更优的计算性能、功耗和成本。”

“谈到半导体产业，PPAC（性能、功耗、面积、成本）

是一个最核心的关键参数。虽然过去几十年摩尔定律一直在推动我们计算性能不断提高，但是现在芯片的性能、功耗、成本，其实面临着很多的挑战。”周博士进一步说，“摩尔定律实际上不仅仅就是计算能力，不仅仅就是晶体管数，更主要的还是性能、功率、面积跟成本的综合（PPAC），这是最关键的因素。摩尔定律现在准确的定义是： $PPAC = \text{性能} \div \text{功率} \div (\text{面积} \times \text{成本})$ ，这个公式算出来是两倍的话，那就是一个更先进的节点。”

周博士表示：“有好多因素决定制程从一代到下一代。通过传统二维的方法缩减晶体管尺寸已经很难再有大的突破，但是，有更多新的方法去实现PPAC整体的提升。第一是新的架构，比方TPU、GPU，可以作为一个加速器来提高计算，尤其是在云端的计算性能。第二是新的结构，比方说：NAND传统存储器，从二维到现在的三维。可以一直堆叠，虽然有挑战，但是突破了两维的限制。第三就是新材料，以前在元素周期表里面只有几个元素被用在半导体里面，现在已经用到了很多新材料，版图变得越来越大。比如后端的互联，原来一直是铜，现在也用到钴，可以显著提高晶体管的性能。所以，新材料在提升整个PPAC方面，可以起到非常大的作用。还有新微缩技术，现在可以看到最先进的就是紫外光刻EUV，但其实从材料工程角度，还有更多的方法去实现。比方说，通过一些自对准微处理技术，不依赖光刻的新微缩方法，也可以实现晶体管尺寸的下降。最后是先进封装技术，就是通过先进的封装技术，把不同世代的处理器、存储器、加速器等整合到一起，从系统层面上实现最优的性能。但是，对于所有这些方法来说，材料工程其实是一个基础，这正是应用材料公司的专长。我们做的事情，就是以材料工程解决客户的关键技术问题，然后帮助客户实现他们的产品。”

应用材料中国公司首席技术官赵甘鸣博士表示：“现在最热门的是人工智能（AI），人们说‘All in AI’。但是不管是人工智能、物联网、或是大数据，都是从软硬件层面、从应用场景、或是从商业模式去讨论，而应用材料公司强调的是从底层上怎么去实现AI的发展。我们看到由大数据驱动的人工智能，推动了巨大运算的需求，从而造成了

硬件开发和硬件投资的复兴。从应用材料公司本身角度讲，我们公司的研发投资从过去的每年平均至少 10 亿美金增加到 2018 年的 20 亿美金，就是想加速硬件的开发，然后从底层、从硬件角度，去帮助这些 AI 公司实现各种应用。”

“硬件开发与投资的复兴包括许多方面，比方‘加速器’，TPU，GPU。再就是‘近存储器计算’（Near Memory Compute）。”如同周博士所表示，现在的计算能力不再是单独的由处理器的能力来决定，因为处理器跟存储器之间来回的传输数据，这样的瓶颈造成了计算能力不能再往上推。而“近存储器计算”就是用大量的“高带宽、大容量”，把存储器跟计算处理器更紧密连在一起，这样就可以在系统层级推动计算性能的提高。这些可以用现有的 DRAM、NAND、SRAM 架构模块去实现，因此预计从现在到未来两年，可以看到很多这样“近存储器计算”的架构。

谈到新型存储器，主要包括：MRAM、ReRAM、PCRAM。为什么新型存储器很重要？因为跟传统的存储器相比，它们有很多独特的功能和优势。用新型的存储器跟现在传统的存储器结合，就可以实现更好的“近存储器计算”。同时，这些新型存储器又可为将来的发展，也就是“存储器内计算”（In-Memory Compute）打下基础。“存储器内计算”就是把存储跟处理整合到一起，存储就是计算、计算就是存储，这样两者之间就没有数据传输，没有数据传输就没有延时、没有功耗。所以，“存储器内计算”可以在性能和功耗上达到显著提升。周博士表示：“预计未来两年到五年，‘存储器内计算’会逐步的发展和应用。而最先进的可能是一些新型的类脑计算，叫‘高性能计算’，这项技术可能需要更长的时间才能实现。IBM 和英特尔已经在这方面投入了很多研发。”

新型存储器 MRAM, ReRAM, PCRAM

新型存储器 MRAM, ReRAM, PCRAM 是未来“近存储器计算”、“存储器内计算”和“高性能计算”的基础和保证，周博士详细介绍了几种新型存储器的特点和应用。

MRAM 是磁性随机存取存储器，采用硬盘驱动器中常见的精密磁性材料，具有快速存取和非易失性能。它的架构非常简单，它的存储单元直接嵌入到逻辑的电路里面，不额外占用“硅”的面积，因此可以做得非常小，一个晶体管即可控制一个存储单元。同时，因为 MRAM 在待机时不耗电，因此，用 MRAM 替代 SRAM 和闪存，就可以

实现低功耗、高性能，这对于物联网中的边缘终端非常重要。将 MRAM 集成到物联网芯片的后端互连层中，相比于现有利用 SRAM 和 eFlash 架构，能够实现更小的裸片尺寸和更低的成本。

PCRAM 是相变随机存取存储器，采用的是 DVD 光盘中常见的相变材料，通过将材料状态从非晶态更改为晶态对数据位进行编程。ReRAM 是电阻随机存取存储器，采用的工作原理类似保险丝的新材料制成，能够在数十亿个存储单元中选择性地形成细丝来表示数据。ReRAM 和 PCRAM 还有望实现和编辑多个电阻率中间形态，以便在每单个存储器单元中存储多位数据。

ReRAM 和 PCRAM 这两类存储器可以跟 MRAM 一样，做嵌入式应用。但是，更有吸引力的地方在于，ReRAM 和 PCRAM 与 NAND 存储器类似，可以实现 3D 结构排列，存储器制造商可以在更新换代过程中逐步增加层数，从而稳定地增大容量、降低存储成本。ReRAM 和 PCRAM 的成本可以明显低于 DRAM，并能够提供比 NAND 和硬盘驱动器更快的读取性能。这使得 ReRAM 和 PCRAM 在云计算、大数据中心方面非常有吸引力。

ReRAM 还是未来存储器内计算架构的首选产品，在这一架构中，计算元件将集成到存储器阵列中，协助克服与 AI 计算相关的数据传输瓶颈。

随着当今的数据产生呈指数级增长，对于云数据中心连接服务器和存储系统的数据路径，其速度和功耗也需要实现跨数量级的改进。ReRAM 和 PCRAM 是低功耗、高密度的高速非易失性存储器，可作为“存储级存储器”来填补服务器 DRAM 和存储器之间不断扩大的性价比差距。

应用材料公司解决新型存储器制造难题

虽然以 MRAM、ReRAM 和 PCRAM 为代表的新型存储器能够带来独特的优势，但由于这些存储器需要采用新型材料，制造上面临许多独特的挑战，至今很难实现大规模量产，亟需在制造方面取得突破性进展。

近日，应用材料公司推出了可实现这些新型存储器大规模量产的两个创新型解决方案 Endura[®] Clover[™] MRAM PVD 平台和 Endura[®] Impulse[™] PVD 平台，有望大大加速面向物联网和云计算的新型存储器的工业应用进程。

周博士介绍：“准确的说，这不是两个产品，而是两个‘集成式’或者‘整合式’的材料解决方案。应用材料

公司一直强调，我们不是仅做‘一步’，而是凭借广泛的产品组合在最大程度上整合我们所有的技术，打造前所未有的新型材料工程技术平台，来帮助客户加快他们的产品进程，提高他们的产品性能。这些集成化平台充分展示了新材料和 3D 架构能够发挥关键的作用，并以全新的方式帮助计算行业优化性能、提升功率并降低成本。”



应用材料公司 Endura® Clover™ MRAM PVD 平台

应用材料公司的新型 Endura® Clover™ MRAM PVD 平台由 9 个特制的工艺反应腔组成，这些反应腔全部集成在高度真空的无尘环境下。这是业内首个用于大规模量产的 300 毫米 MRAM 系统，其中每个反应腔最多能够沉积五种不同材料。MRAM 存储器需要对至少 30 层的材料进行精确沉积，其中有些层的厚度比人类的发丝还要薄 500,000 倍。即使仅有原子直径几分之一工艺变化，也会极大地影响器件的性能和可靠性。Clover MRAM PVD 平台引入了机载计量技术，能够以亚埃级灵敏度对所产生

的 MRAM 层的厚度进行测量与监控，从而确保实现原子级的均匀度并规避接触外界环境的风险。

周博士说：“Endura® Clover™ MRAM PVD 是应用材料公司有史以来最精密的芯片制造系统。我们的 Clover™ PVD 专门为复杂的 MRAM 沉积而设计，精度可达亚原子级别。MRAM 磁性隧道结中的氧化镁阻挡层对器件性能起关键作用。我们独特的 Clover™ PVD 氧化镁系统能够提供高质量的氧化镁阻挡层，实现 MRAM 更低功耗和更高耐久度。”

应用材料公司专为 PCRAM 和 ReRAM 打造的 Endura® Impulse™ PVD 平台包含多达九个真空工艺反应腔，并集成了机载计量技术，能够对这些新型存储器中使用的多组分材料进行精确沉积和控制。

周博士介绍：Endura® Impulse™ PVD 能够对 PCRAM 和 ReRAM 存储器中使用的新材料进行非常均匀的沉积，实现卓越的成分和厚度控制，是最大程度提升器件性能、可靠性和耐用性的关键所在。

“全新的 Endura® Clover™ MRAM PVD 和 Endura® Impulse™ PVD 制造系统能够以原子级的精度沉积新型材料，从而解决了新型存储器生产的核心难题。这是应用材料公司迄今为止开发的最精密的系统，是实现新型存储器大规模量产的创新型解决方案。希望我们的产品能够加速这些新型存储器在非常热门的物联网、云计算领域中的运用。在大数据时代，通过新型存储器实现新计算架构，提升计算效能，实现人工智能在各种场景更多的应用，这是这两个新产品最终想要实现的目标。”周博士说。◆

(Sunnie Zhao 报道)



应用材料公司专为 PCRAM 和 ReRAM 打造的 Endura® Impulse™ PVD 平台

欢迎访问

半导体芯科技网站

www.siscmag.com

半导体产业新闻、深度分析、权威评论
为中国半导体行业提供全方位的商业、技术和产品信息。