

忆阻器与类脑芯片

——访领军人物缪向水教授

张莹^{1,2}, 杜春玲^{1,2}

(1.北京市电子科技情报研究所 北京 100009; 2.《微纳电子与智能制造》杂志社 北京 100009)

编者按:忆阻器被认为是继电阻、电容、电感之后的第4种基本电路元件,这一个概念的提出和实现给传统电路理论带来了根本性的变革。忆阻器在新一代信息技术诸多领域(包括低功耗类脑计算、非易失逻辑运算、信息存储等)有着广阔的应用前景,成为近年来备受关注的新型纳米器件,并引起国内外众多高校、科研机构、业界主要半导体公司的广泛关注和投入。正值华中科技大学蔡少棠忆阻器研究中心成立之际,《微纳电子与智能制造》采访到忆阻器研究中心主任缪向水教授,请缪教授为大家讲述忆阻器相关领域的研究进展,为领域内的研究人员答疑解惑。

关键词:忆阻器;类脑芯片;阻变器件;存储器

中图分类号:TP389

文献标识码:A

国家标准学科分类代码:510

缪向水,教育部“长江学者”特聘教授、国务院政府特殊津贴专家。现任华中科技大学光电信息学院副院长、微电子学院副院长、信息存储材料及器件研究所所长、蔡少棠忆阻器研究中心主任。兼任中国存储器产业联盟副理事长、中国半导体三维集成制造产业联盟副理事长、中国仪表功能材料学会副理事长、中国微米纳米技术学会常务理事、中国真空学会理事。长期从事相变存储器、忆阻器及其类脑计算、存算一体等研究。主持承担了国家重点研发计划项目、国家国际科技合作项目、国家自然科学基金项目、国家863计划项目等科研项目,在 *Nature Communications* 等国际著名期刊上发表文章300余篇,出版了我国第一本忆阻器专著《忆阻器导论》。曾荣获国家科技进步奖2项、新加坡国家技术奖1项。

《微纳电子与智能制造》:忆阻器的研究和应用近年来备受关注,请您简要介绍一下近些年国内外忆阻器的研究和发展状况。



缪向水教授:自2018年HP实验室首次将忆阻器概念与氧化物中电阻转变行为关联起来后,其独特的非易失阻变特性被提出可应用于非易失存储器、类脑神经形态计算、非易失逻辑运算等领域,忆阻器迅速成为学术界和工业界的新兴研究热点,涉及微电子、材料、物理、神经生物学、电路、计算机、自动化

等多学科。国外的代表性研究单位包括HP实验室、密歇根大学、麻省大学、加州大学、德国亚琛工业大学、德国德累斯顿工业大学等,国内的华中科技大学、清华大学、北京大学、中国科学院微电子研究所、国防科技大学、东北师范大学等单位也都在忆阻器研究方面取得了一系列成果。

《微纳电子与智能制造》:您从2008年起在国内率先开展忆阻器件及其在类脑计算和存算一体等领域的应用研究,主持完成了多个国家级科研项目,取得了国际先进水平的研究成果。您认为目前忆阻器研发还存在着哪些瓶颈问题?

缪向水教授:忆阻器研发主要的瓶颈问题包括:(1)如何推动存储器技术研究成果向产业化进行转化;(2)如何克服传统冯·诺依曼计算架构的思维瓶颈,开拓存算一体化的应用领域。

《微纳电子与智能制造》:请谈谈您对忆阻器的理解,它的本质是什么?当前RRAM、PCRAM等新型存储器是不是真正意义上的忆阻器?有人说阻变器件就是忆阻器,您同意这样的观点吗?

缪向水教授:忆阻器是电阻、电容、电感之外的第4种无源基本电路元件,其本质是一类普适性的物理现象,其强度有强有弱。忆阻器的3条简单判据为:(1)在双极性周期性电信号的激励下,器件在 v - i 平面的电特性为一个捏滞回线;(2)当电信号扫描频率增大时,捏滞回线的波瓣面积持续减小;(3)当扫描频率趋近无穷大时,捏滞回线将收缩为一条单值函数。

广义的忆阻器体系包括理想型忆阻器(ideal memristors)、通用型忆阻器(generic memristors)和拓展性忆阻器(extended memristors),阻变存储器RRAM、相变存储器PCRAM、磁随机存储器MRAM等新型存储器都属于广义忆阻器范畴。

我们认为“忆阻器”是一个更基础的概念,这一元件应用于不同领域时,被赋予了不同的具体称呼。当忆阻器被用作非易失存储器时,普遍称为“阻变存储器RRAM”,我们认为阻变存储器是忆阻器在存储器领域应用时的具体称呼。

《微纳电子与智能制造》:哪种材料最适合做忆阻器?忆阻器是不是实现类脑芯片的最终选择?您对忆阻器的应用前景有何期待?您认为是否有机会/什么时候能够实现类似DRAM、Flash这种较大的市场规模?

缪向水教授:这个问题我们要从不同的应用角度来看,当你希望忆阻器材料容易与标准CMOS工艺集成时,已成熟应用在标准CMOS工艺中的二氧化物如 HfO_x 、 TaO_x 等会是很好的材料选择,且器件已被证明具有很好的忆阻性能,如高速、低功耗、高擦写次数等。当你希望忆阻器用于柔性电子系统中时,一些具有很好延展性的有机材料也可以作为忆阻材料来使用,且满足柔性电子系统的特殊需求。

我们认为,忆阻器是目前实现类脑芯片的最佳选择。一方面,理想的忆阻器能够实现高精度的连续电导调节,使得高密度集成的忆阻阵列能够非常高效地以模拟计算的方式执行神经网络中计算最为繁重的矩阵向量乘法运算,因此忆阻器是发展深度神经网络加速芯片的极佳方案。另一方面,大量实验已表明忆阻器能够实现仿生的突触可塑性行为,如STDP等,从而为发展第三代神经网络——脉冲神经网络提供了很好的器件解决方案。另外,与基于SRAM、DRAM、Flash等类脑芯片相比,基于忆阻器的类脑芯片具有占用面积小、功耗小、集成度高等极大优势。

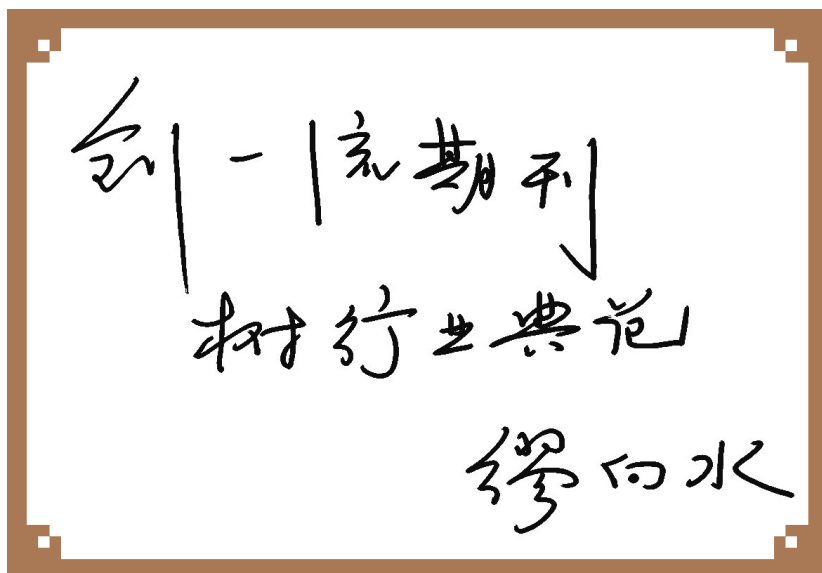
我们预期,忆阻器将很快在存储器芯片、类脑芯片、存算一体芯片等应用领域取得大的突破。当然,形成大规模的应用市场,还需要学术界和工业界共同的努力,需要克服忆阻器大规模量产的关键技术问题,遴选最适合忆阻器的应用场景。

《微纳电子与智能制造》:华中科技大学蔡少棠忆阻器研究中心最近刚刚成立,您作为研究中心主任,对研究中心有何规划,研究中心未来发展模式如何?

缪向水教授:华中科技大学和“忆阻器之父”加州大学伯克利分校蔡少棠教授有多年的学术交流和与合作,蔡教授2016年受聘为华中科技大学名誉教授,每年来校指导我们的研究工作,一起合作发表学术

论文。双方都有意愿在华中科技大学成立“蔡少棠忆阻器研究中心 (Chua Memristor Institute, CMI)”。蔡少棠忆阻器研究中心致力于推动忆阻器相关技术的发展,包括忆阻器理论、忆阻新材料与新器件、忆阻系统与颠覆性应用技术等。中心将努力在国际学术界和工业界提供一个开放、创新的交流平台,以促进忆阻器领域新知识的产生、传播和应用。

蔡少棠忆阻器研究中心聘请了一支由国际顶尖专家学者组成的国际顾问委员会,已有100多人的研究队伍紧锣密鼓地围绕前沿科学问题和技术基础问题开展研究工作,主持承担了国家“光电子与微电子器件及集成”重点专项基础研究类项目“非易失性存算一体化忆阻器件与电路研究”(华中科技大学、清华大学、北京大学、中国科学院微电子研究所、国防科技大学、东北师范大学),与华为公司、长江存储公司、新思科技



(Synopsys)公司成立了联合实验室,与德国德累斯顿工业大学的忆阻器研究中心(Chua Memristor Center)以及美国加州大学伯克利分校蔡少棠教授缔结了合作伙伴关系,大力推动国内外团队间的实质性科研合作。此外,中心将与不同学术机构合作,每年举办国际学术会议,不定期举行系列讲座,开设研究生课程,加强学术交流、学术培养和科学普及。