科学家合作报道用于图像处理和模式识别的空位有序双钙钛矿忆阻器

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/30181.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

科学家合作报道用于图像处理和模式识别的空位有序双钙钛矿忆阻器。2024年11月1日，吉林大学张佳旗教授，香港科技大学周圆圆教授和南方科技大学王中锐教授合作在Matter期刊上发表了一篇题为 Vacancy-ordered double-perovskite-based memristors for image processing and pattern recognition 的研究成果。

研究团队以B位空位有序钙钛矿Cs2TiBr6作为忆阻器件的阻变层。通过结合微观结构分析，第一原理计算和有限元分析，深度剖析并证实本征B位有序空位在调控局域电场密度和能量密度的有效性。这一特性在促进溴空位形成，增强溴空位扩散以及限制导电细丝随机生长方面发挥着重要作用。此外，该器件成功应用于图像降噪和模式识别，展现其在类脑计算领域的潜力。

论文通讯作者为吉林大学张佳旗教授，香港科技大学周圆圆教授和南方科技大学王中锐教授，博士研究生李文彤和任衍允博士为本文的第一作者。

类脑硬件正日益成为应对冯诺依曼架构局限性的关键解决方案。忆阻器凭借其卓越的性能，能够有效克服传统计算系统在数据传输和能量效率方面的不足，因此被广泛视为未来最具潜力的类脑硬件。然而，在开关过程中，离子迁移的不确定性以及器件间性能的差异，已成为开发低延迟、高性能神经形态硬件的主要瓶颈。

为了解决这一瓶颈，研究团队对基于B位有序双钙钛矿结构Cs2TiBr6的忆阻器件进行了系统的阻变性能评估。测试结果揭示，该器件的开启和关闭速度分别达到28ns和54ns，展现出优异的动态响应能力。同时，阻变特性在周期间和器件间均展现出良好的鲁棒性。为了系统的研究器件的开关机制，利用COMSOL构建物理仿真模型。模拟得到的电流—电压曲线与实验数据高度一致，验证了模型的有效性。该结果不仅直观揭示导电细丝形成/破裂的动力学过程，还深入讨论各参数对阻变特性的影响。

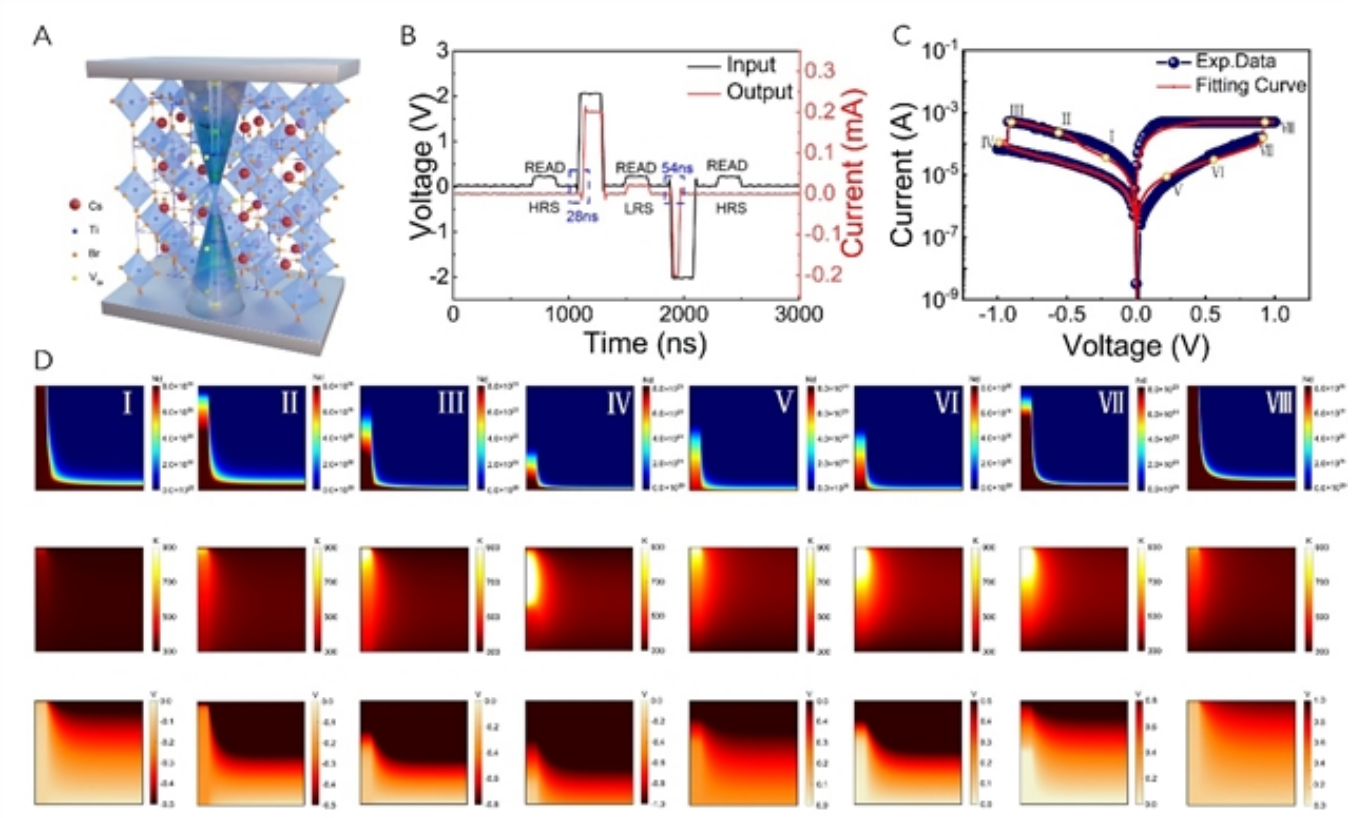


图1：基于Cs2TiBr6忆阻器的基本阻变性能，并通过COMSOL构建的综合模型用于模拟阻变过程中溴空位浓度、电势和温度的变化。

尽管以往研究表明，双钙钛矿(A2B1B2X6)忆阻器的开关速度受到离子迁移的限制，导致响应速度较慢，但该研究发现，基于Cs2TiBr6的忆阻器分别展现出28ns和54ns的快速开关速度，这一性能与铅基钙钛矿相当。研究者认为，Cs2TiBr6材料本征的有序空位结构在其中发挥了重要作用。为此，构建了基于B位空位有序双钙钛矿的微观结构和原子间距的有限元分析模型，模拟了单个B位空位和多个B位有序空位周围的局域电场分布和能量密度分布。结果显示，单空位周围的局域电场密度和能量密度分布显著高于其他区域，而有序空位之间的模拟结果则呈现出叠加现象。这些结果证实，有序的B位空位能够有效地控制局域电场密度和能量密度，为溴空位提供快速迁移通道。此外，利用第一性原理计算得出Cs2TiBr6中溴空位的形成能为1.42eV，低于文献报道的其他双钙钛矿卤化物的卤素空位形成能。同时，通过应用Arrhenius方程计算，得到了较大的溴空位扩散系数。综上所述，得益于Cs2TiBr6的B位空位有序结构，该材料具有以下优势：(1)
为溴空位提供快速迁移通道；(2)
有效控制局域电场密度和能量密度，降低溴空位形成能，提高溴空位扩散系数；(3)
抑制随机导电细丝的生长，最终实现器件的快速响应特性。

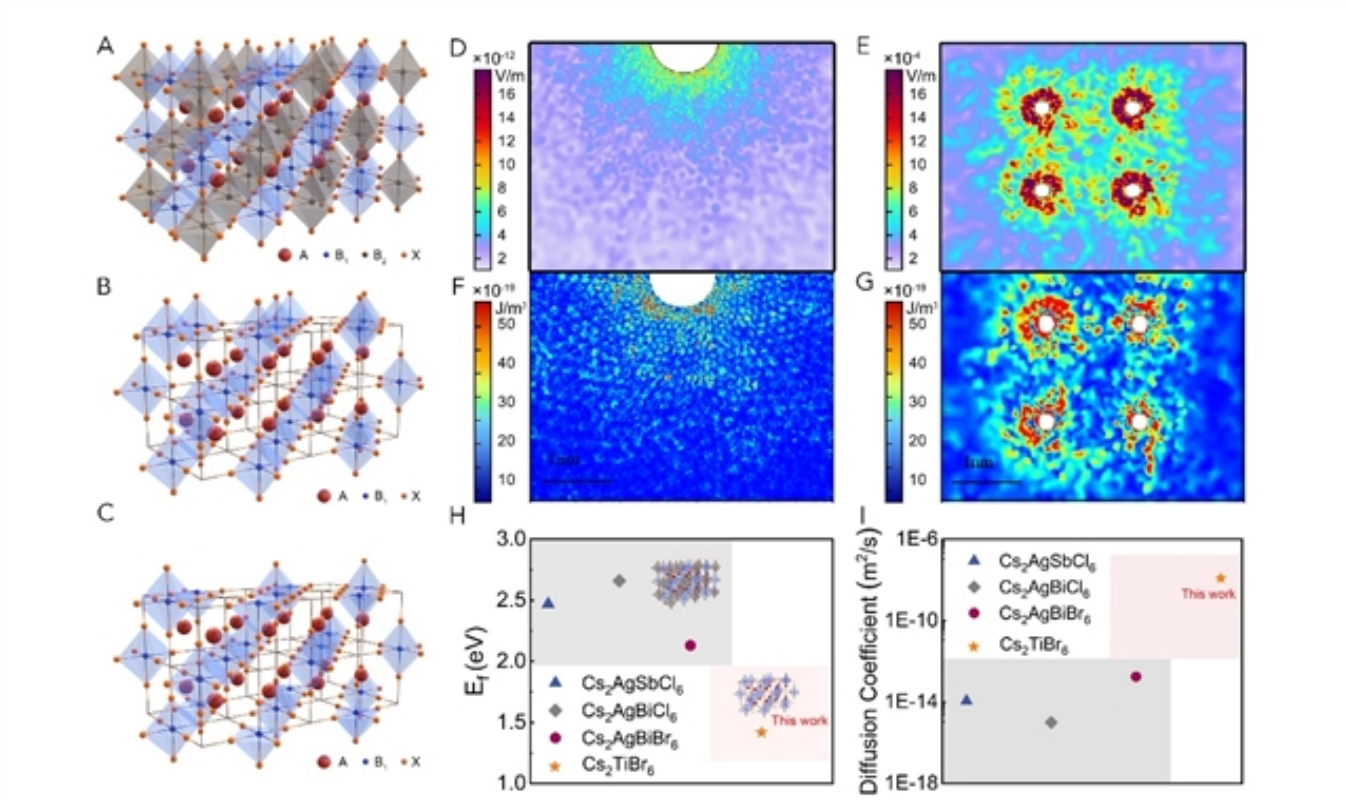


图2：基于B位空位有序双钙钛矿的COMSOL模拟和第一性原理计算。

受到生物信息预处理过程的启发（在这一过程中，信息以电信号的形式在双极细胞、无突细胞、水平细胞和神经节细胞之间传递，最终传递到大脑的初级纹状皮层），研究者构建了一个8×8忆阻交叉阵列用于图像降噪。处理过程有效降低了输入信号的噪声，输出了高分辨率的降噪图像。此外，设计了人工神经网络以模拟初级纹状皮层的识别功能，使得降噪后的图像识别精度提升至92%。

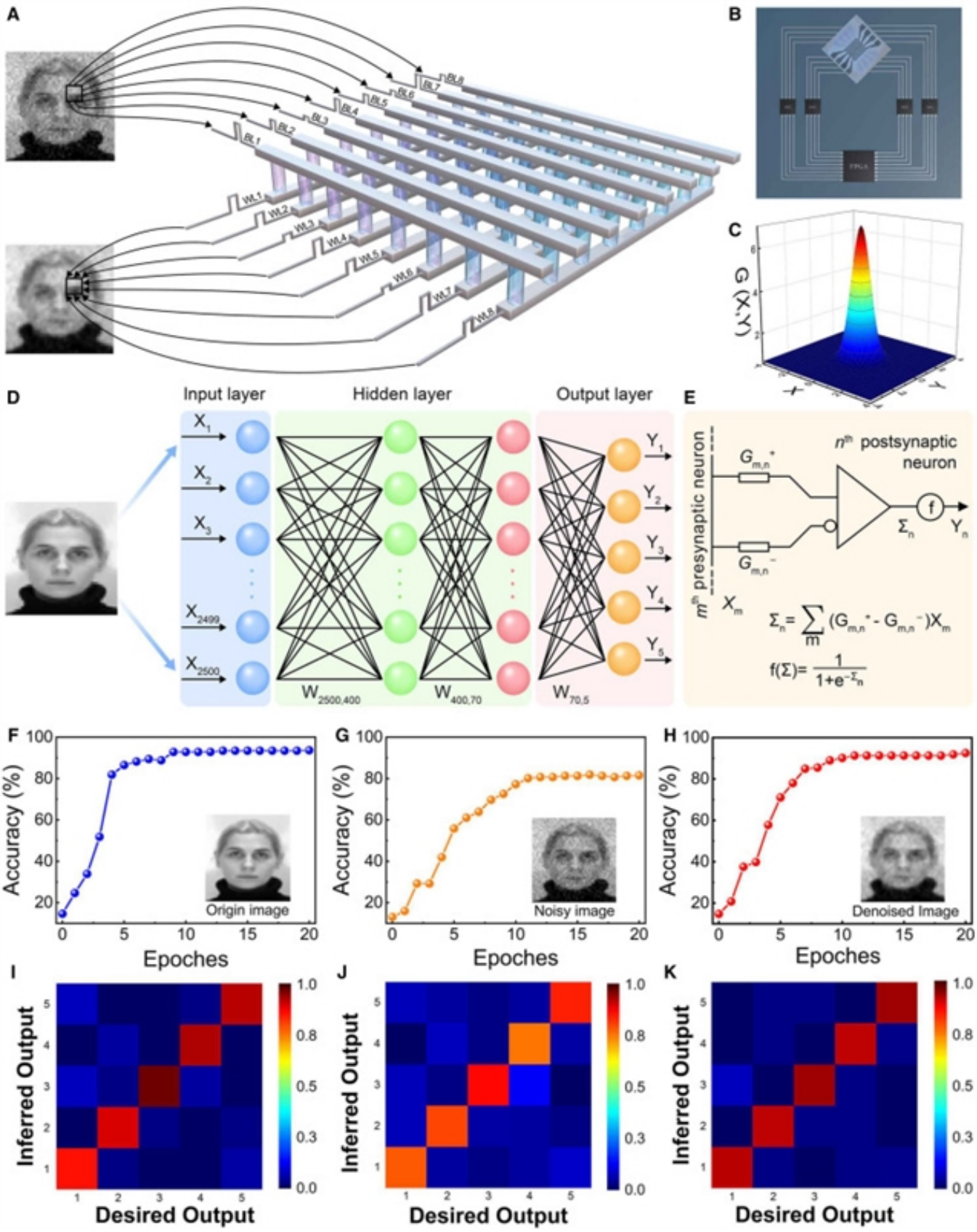


图3：用于图像降噪和识别的Cs2TiBr6忆阻横杆阵列以及人工神经网络。

该工作证实了本征空位有序材料在推进高效，稳健的忆阻器件方面的潜力，为开发高速神经形态

计算的仿生器件提供了一种可行的材料级别策略。（来源：科学网）

相关论文信息：https://doi.org/10.1016/j.matt.2024.10.006

作者：张佳旗等 来源：《物质》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发