

中国科学院物理研究所 L03组供稿
北京凝聚态物理国家研究中心

第13期

2020年02月25日

基于铁电畴翻转的类脑器件

随着人类社会数据量的急剧增加以及数据类型复杂程度的提高，类似于人脑的神经网络型信息处理模式效率将会明显优于传统架构计算机。开发符合神经形态计算特性的电子器件进而构建大规模人工神经网络，通过模仿人脑工作方式进行类脑计算，被认为是解决目前算力瓶颈的潜力方案，相关研究已成为未来信息科技发展的一个重要方向。

中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心光物理重点实验室金奎娟研究员和杨国桢院士领导的L03组致力于激光分子束外延方法制备功能氧化物外延膜及其物性调控的研究。该课题组葛琛副研究员围绕氧化物界面极化场调控的基本科学问题，探索开展了基于功能氧化物薄膜界面工程的类脑器件研究 (Adv. Mater. 30, 1801548 (2018); Adv. Mater. 31, 1900379 (2019); Adv. Funct. Mater. 29, 1902702 (2019); Nano Energy 67, 104268 (2020))，最近通过精确控制氧化物超薄膜铁电极化畴翻转过程设计实现了高性能人工突触器件。

铁电隧穿结物理机制的清晰理解对设计高性能人工突触是至关重要的。铁电隧道结是一种将铁电性与量子隧穿效应相结合的信息器件，由铁电超薄膜和两种金属电极组成三明治结构，形成可被铁电极化方向调制的势垒，从而实现高低阻态之间的转变。但是，近几年的研究表明铁电隧穿结的电阻开关效应可能还存在离子迁移的贡献。针对此争议，我们使用激光分子束外延技术生长了7 u.c.厚的BaTiO₃超薄外延膜，成功制备了铁电隧穿结。通过与顺电性SrTiO₃体系的对比实验，我们阐明存在氧空位的铁电超薄膜对开关比有重要的贡献，解决了该领域长期存在的争议，在此基础上设计了目前开关比最大的铁电隧穿结。最近铁电隧穿结综述文章 (Advanced Materials 1904123 (2019)) 总结了近十年来该领域所有重要工作的开关比，显示我们器件的开关比性能最佳。该工作发表在Cell综合类子刊iScience 16, 368 (2019)。

铁电极化只有两个状态，如何控制铁电畴实现非易失性的多状态存储是设计人工突触需要解决的关键科学问题。我们在上述铁电隧穿结工作基础上，从时间尺度细致研究了铁电畴翻转动力学，发现铁电隧穿结畴区翻转过程可以用成核限制模型 (nucleation-limited-switching model) 进行精确描述。从而，我们能够精细地调控铁电畴逐渐翻转实现上百个中间非易失状态，该铁电突触器件展现出超低的能耗、多状态、优异耐久性、超高线性度和对称性。此外，利用铁电氧化物薄膜的电容效应和畴翻转行为，可分别实现短程和长程可塑性。基于铁电畴翻转的电子突触器件构成的人工神经网络对标准图库MNIST识别率可达到96.4%。这是目前两端器件的最高水平，展现出铁电氧化物材料在神经形态器件应用上的潜力。该工作发表于Advanced Materials 32, 1905764 (2020)。

受此工作的启发，我们进一步用SrTiO₃超薄外延膜制备了人工突触器件，该器件每个脉冲的能耗低至fJ量级，甚至能够与生物突触的能耗相比，为基于离子阻变效应的突触器件设计提供了新思路。该工作发表于ACS Applied Materials & Interfaces 11, 43473 (2019)。

以上工作的主要完成者包括物理所李建坤博士等，主要合作者北京大学高鹏研究员团队（铁电薄膜电镜表征）。系列工作得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金、中国科学院等项目的资助，葛琛感谢中国科学院青促会的支持。

原文链接:

Giant Electroresistance in Ferroionic Tunnel Junctions, iScience 16, 368 (2019). Cell综合类子刊

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004219301804>

Reproducible Ultrathin Ferroelectric Domain Switching for High-Performance Neuromorphic Computing, Advanced Materials 32, 1905764 (2020).

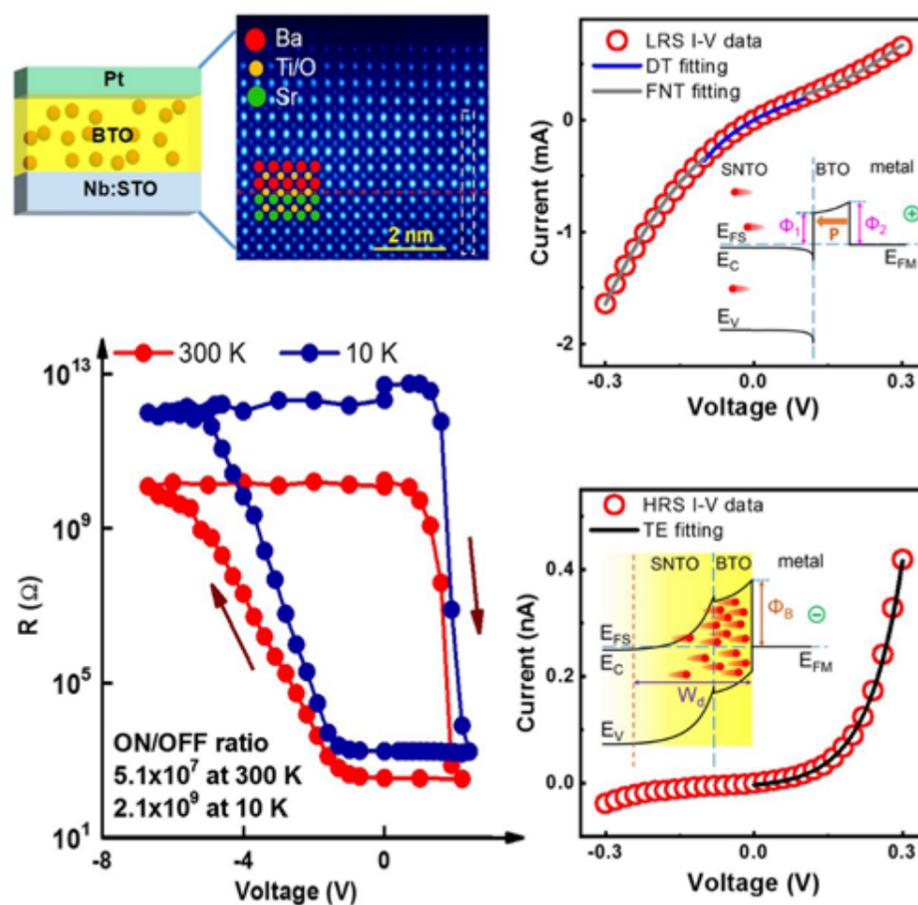


图1. 高开关比Pt/BaTiO₃/Nb:STO铁电隧穿结设计

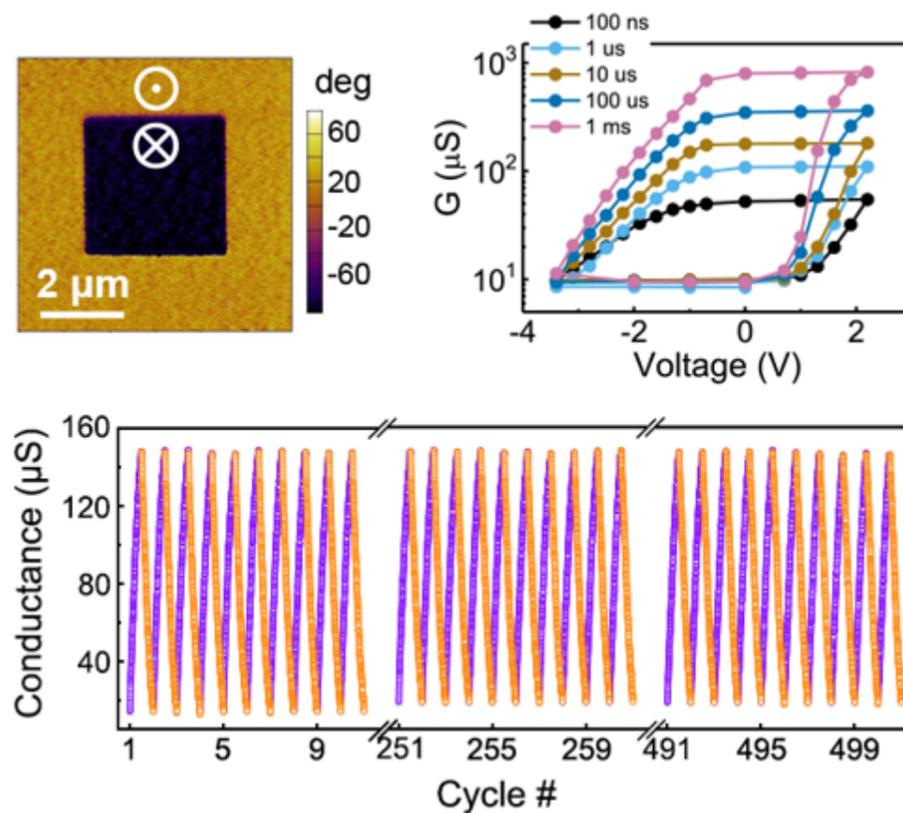


图2. 铁电突触器件研究

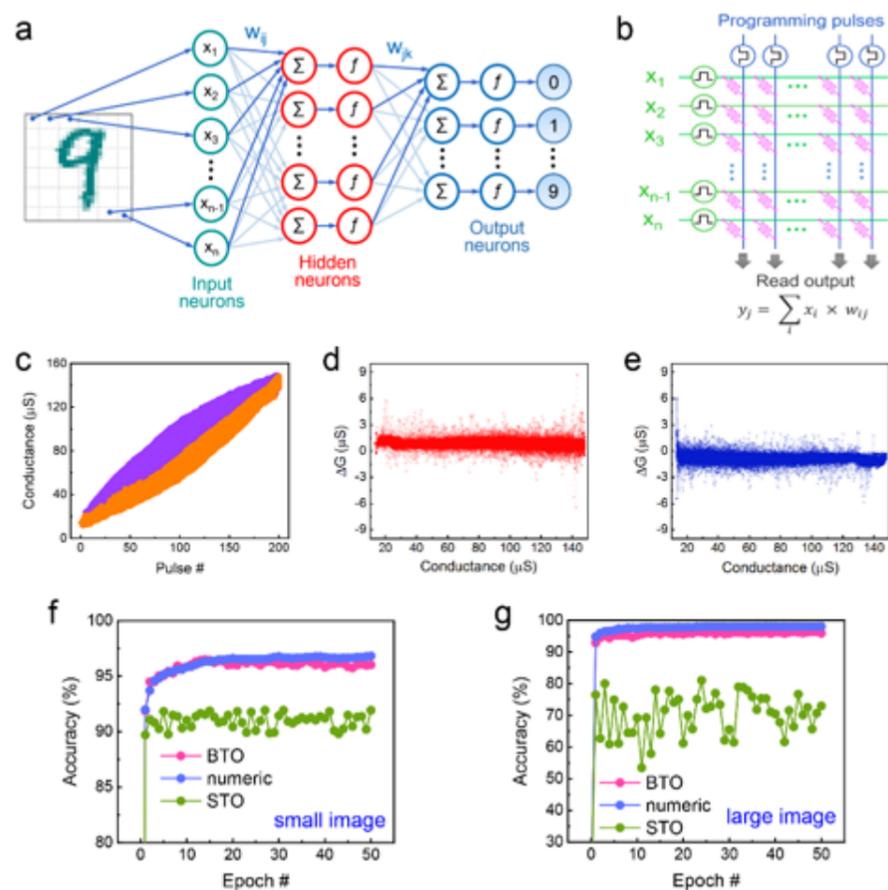


图3. 铁电突触神经网络对标准图库识别的模拟研究

[iScience 16, 368 \(2019\).pdf](#)

[Adv. Mater. 32, 1905764 \(2020\).pdf](#)

[ACS Appl. Mater. Interfaces 11, 43473 \(2019\).pdf](#)

[公开课](#)
[微信](#)
[联系我们](#)
[友情链接](#)
[所长信箱](#)
[违纪违法举报](#)

