



首页 所况简介 机构设置 研究成果 人才队伍 研究生教育 党群园地 科学传播 学术期刊 信息公开

新闻动态

当前位置：首页 > 新闻动态 > 科研动态

所内新闻

科研动态

综合新闻

通知公告

媒体扫描

物理所公开课

中国科学院物理研究所  
北京凝聚态物理国家研究中心

M06组供稿

第75期

2018年10月29日

## 基于二维层状氧化钼的全固态神经突触晶体管

人类的大脑可以认为是一种高效的信息存储与计算系统，具有非常低的功耗（ $\sim 20\text{ W}$ ）。这主要源于人脑对信息处理的独特方式。人脑中存在大量的神经元，其相互连接构成复杂的神经网络。每两个神经元的连接点称为突触，信息通过突触连接强度（即突触权重）的变化进行存储与计算。突触可塑性即是通过特定模式的突触活动产生突触权重变化的生物过程，这个过程被认为是大脑学习和记忆的源头。可以看出，人脑是一种典型的非冯·诺依曼构架，即存储与计算于一体的并行信息处理模式，并且具有自适应学习能力、高的容错能力和抗干扰能力。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，神经网络型信息处理模式的效率将会明显优于传统计算机。因此，开发符合神经形态存储与计算特性的电子器件并进而构建大规模人工神经网络，成为未来信息技术领域发展的一个重要方向。这一目标的实现将依赖于基础科学在新材料和新原理方面的探索。

突触晶体管是近年来提出的一种三端忆阻器件，利用其电阻态的非易失性连续变化可以进行神经突触功能的模拟。其结构和工作模式与传统的半导体硅基场效应晶体管相似，通过施加栅极电压来调节忆阻晶体管源极和漏极之间沟道电阻的大小。但是，与硅基场效应晶体管不同的是，突触晶体管采用了具有迁移离子的电解质材料代替二氧化硅作为栅隔离层。在栅极电压作用下，迁移离子与沟道材料发生电化学反应并注入到沟道中，使得在栅极电压去除后，沟道电阻的变化可以保持下来。近期，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心磁学国家重点实验室孙阳研究组利用二维层状 $\alpha\text{-MoO}_3$ 单晶薄片作为沟道材料，离子液体作为栅极，实现了这种突触晶体管，利用该器件的电阻态的变化，成功模拟了突触权重增强和减弱、短时记忆至长时记忆的转变等典型神经突触可塑性行为 [Advanced Materials 29, 1700906 (2017)]。然而，由于这种突触晶体管采用离子液体作为栅隔离层，并且沟道电导的变化行为强烈依赖于环境的湿度变化，不利于实现大规模阵列器件的制备和应用，需要进一步开发具有新机制或新结构的全固态突触晶体管器件。

最近，在前期的工作基础上，孙阳研究组尚大山副研究员和博士生杨传森、刘楠等采用固态Li离子电解质替代了离子液体作为栅隔离层，制备了一种全固态突触晶体管。在栅极电压作用下，通过Li离子在层状 $\alpha\text{-MoO}_3$ 中的注入与抽出，实现了 $\alpha\text{-MoO}_3$ 沟道电阻在低电导（ $\sim 75\text{ nS}$ ）条件下的多态可逆变化，并且成功模拟了神经突触权重变化等行为。由于引入了Li离子作为掺杂剂，该器件可以在真空条件下实现沟道电导变化，从而摆脱了对外界环境的依赖，有望实现大规模器件阵列的制备。神经形态计算模拟表明，采用Li离子突触晶体管阵列构建的三层神经网络（ $784 \times 300 \times 10$ ）并结合反向传播算法，可以实现对手写数字库（MNIST, Modified National Institute of Standards and Technology）的训练与识别，识别精度达到87.3%。这一工作证明了将Li离子固态电解质用于实现低功耗全固态突触晶体管的可行性，为实现大规模突触晶体管阵列制备，开发高效神经形态计算网络提供了新的途径。

以上研究结果已发表在Advanced Functional Materials 28, 1804170 (2018)。该工作得到了国家自然科学基金项目（61874143, 51671213, 11534015, 51725104），科技部重点研发计划项目（2016YFA0300701）和中国科学院先导专项（XDB07000000）的支持。

文章连接：<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adfm.201804170>

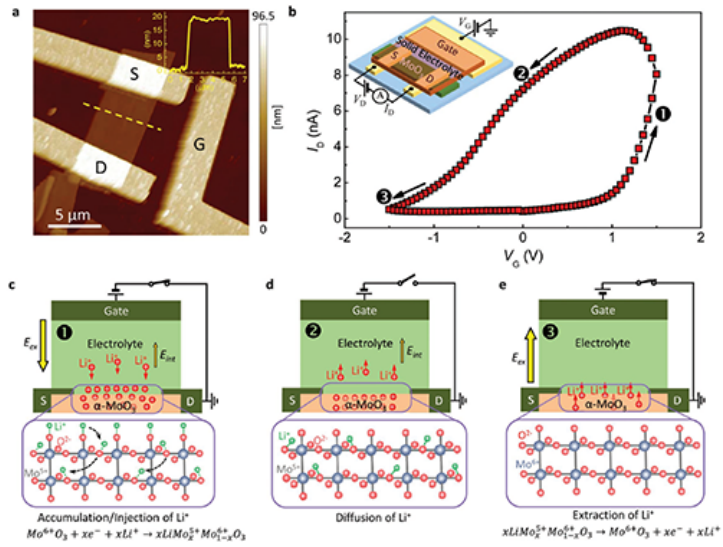


图1 基于 $\alpha$ - $\text{MoO}_3$ 的突触晶体管的结构、电输运性质与锂离子注入/抽出机制。

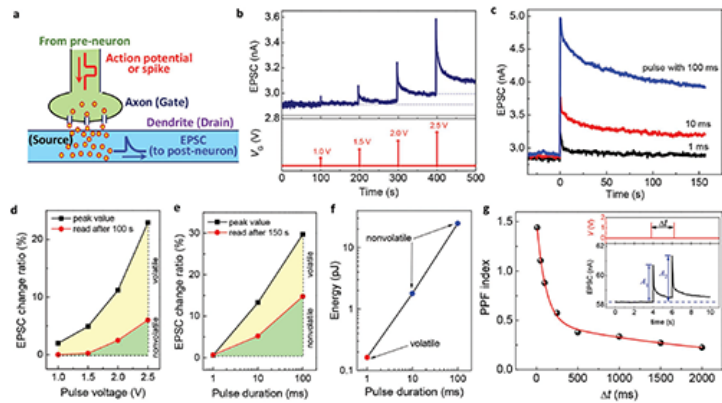


图2 在栅极电压脉冲作用下，突触晶体管沟道电流的易失性与非易失性变化以及模拟兴奋性突触后电流（EPSC）与配对脉冲易化（PPF）等电生理行为。

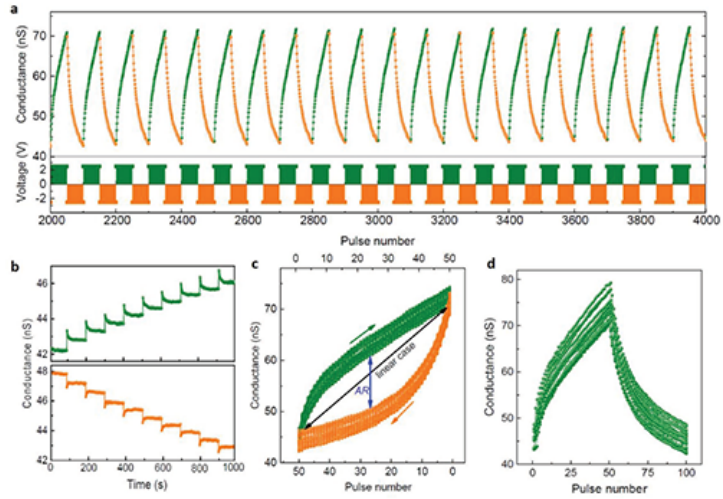


图3 突触晶体管沟道电导的 (a) 模拟式多态可逆变化；(b) 状态保持性；(c) 非线性；(d) 器件间的重复性。

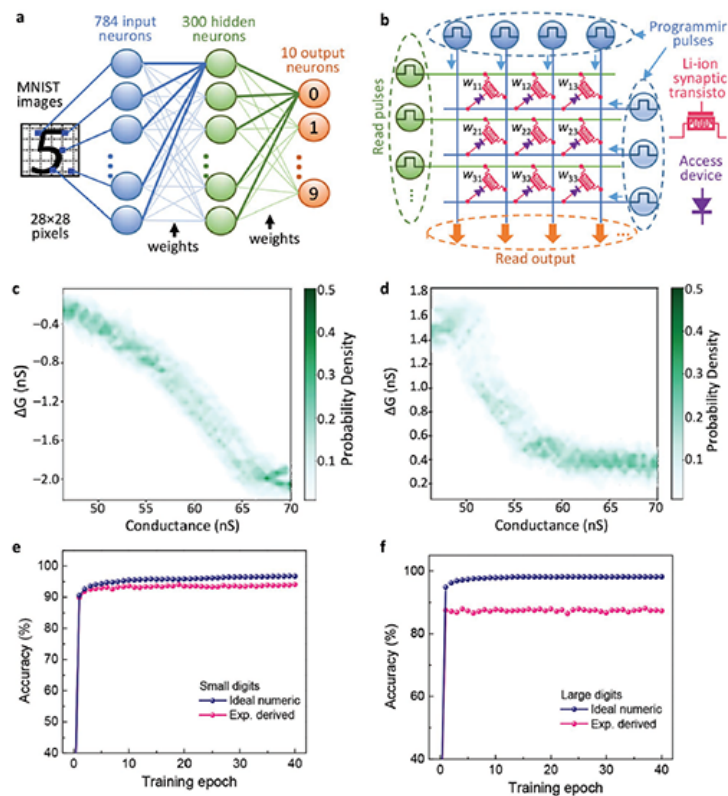


图4 神经形态计算模拟：(a) 三层神经网络；(b) 突触权重层；(c) 和 (d) 单次栅电压脉冲诱导的沟道电导变化的机率分布；(e) 和 (f) 识别率随训练次数的变化。

>> 附件列表：

[下载附件>> Adv.Funct.Mater.28,1804170\(2018\).pdf](#)

电子所刊

公开课

微信

联系我们

友情链接

所长信箱

违纪违法举报

