
基于铁电量子阱的原位发光调制及其多态光电应用

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/36334.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！

基于铁电量子阱的原位发光调制及其多态光电应用。 导读

准二维金属卤化物钙钛矿铁电材料具有自发极化和半导体特性，在光学存储和内存计算等应用中展现出巨大的潜力。然而，准二维钙钛矿薄膜包含多个随机的量子阱宽度分布，导致光电性能和自发极化下降。当前的研究主要集中于消除低 n 相以实现更均匀的高 n 相分布来提高光电性能，却阻碍了铁电性的实现。

针对这一问题，中国科学院长春光学精密机械与物理研究所黎大兵研究员和孙晓娟研究员领导的科研团队提出了通过无机盐 MnBr_2 有效地控制结晶动力学、抑制高 n 相成核，实现均匀井宽的准二维钙钛矿薄膜的新方法。该薄膜具有明显的铁电性能，包括清晰的面内铁电畴翻转和鲁棒的铁电滞回特性，以及高达88.7%的光致发光量子效率。值得注意的是，该薄膜在外加电场下能够实现 Mn^{2+} 离子的非易失、可逆的原位光致发光调制，为钙钛矿材料的光发射调制提供了新的机会。

该研究成果以Phase-pure ferroelectric quantum wells with tunable photoluminescence for multi-state optoelectronic applications为题发表在Light: Science Applications。

研究背景

铁电体具有可切换的自发电极化特性，长期以来在纳米电子学和非易失性器件应用中备受关注。在半导体中，铁电与光学特性的耦合在增强材料功能和产生新的物理现象方面具有很大的前景。

金属卤化物钙钛矿是一种新兴的半导体材料，具有优异的光电特性，如高迁移率、大吸收截面和可调节的带隙，引起了人们的广泛关注。其中，准二维钙钛矿由于有机组分的有序排列和八面体的相对位移的协同效应而表现出自发极化，成为新型半导体铁电材料的有吸引力的候选者。目前报道的准二维铁电体多为块状晶体，其生长过程耗时长、不可控、规模小。而块状铁电晶体已无法满足高性能和多功能器件日益增长的需求。因此，生长准二维钙钛矿铁电薄膜已成为研究热点。准二维钙钛矿薄膜结晶过程中的随机井宽分布会显著降低器件的光电性能，同时也会降低材料的自发极化。

研究亮点

通常，钙钛矿前驱体溶液会自发形成胶体，作为成核位点，从而加速局部结晶速率（图1a）。低 n 相相对于高 n 相具有更低的结晶能垒，具有更高的优选结晶度。因此，有机阳离子（ BA^+ ）的大

量消耗导致了当地有机阳离子的短缺，高n相依次析出，导致相分布更广。该研究团队通过引入无机盐溴化锰以调节溶剂的pH值，使得酸度增加（或碱度降低）抑制了胶体的形成（图1b），产生了均匀且窄的低n相分布的准二维钙钛矿薄膜。

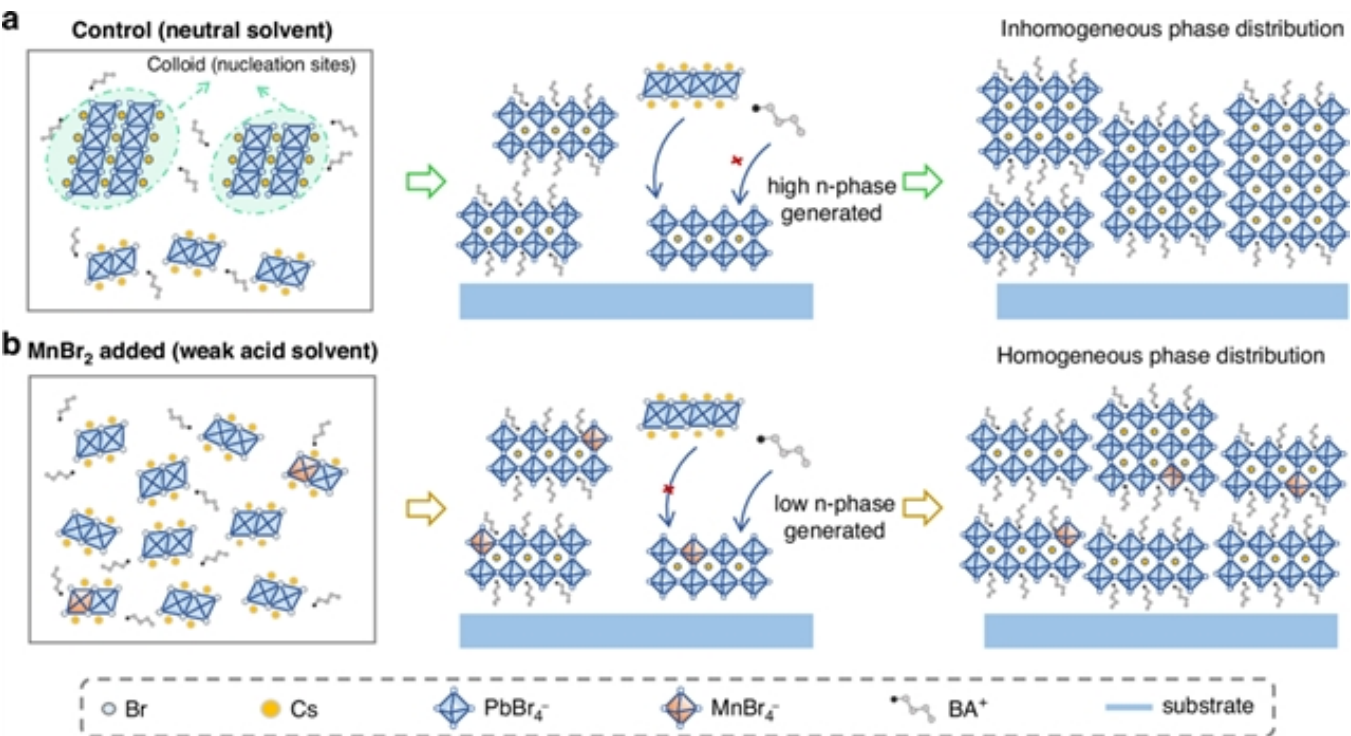


图1：准二维钙钛矿的成核和生长过程示意图

紫外可见吸收光谱显示了制备膜中n相分布的变化（图2a），可以发现引入MnBr₂的薄膜的相分布主要集中在n=2相，表明了MnBr₂促进了低n相的形成。为了进一步确认MnBr₂对n相分布的影响，我们进行了PL测试（图2b）。进一步说明了添加MnBr₂的薄膜具有窄的低n相分布。此外，在600 nm处有一个宽的橙色发射峰，来自Mn²⁺的4T₁-6A₁跃迁。MnBr₂添加量为6%时，荧光量子产率高达88.7%。然后，通过压电响应力显微镜技术对薄膜的不同区域进行极化（±10 V），面内相图清楚地显示了两个极化相反的区域（图2c），说明极化完全局限在薄膜的平面内。基于薄膜优异的光电和铁电性质，设计了一种原位光调制器件（ITO/钙钛矿薄膜/Ag）。对该器件施加电压，得到了随电压变化的PL谱（图2d），来自Mn²⁺的4T₁-6A₁跃迁的橙光发射随电压幅度变大而明显增强，增强因子最大可达2.47。

图2：添加MnBr₂的准二维钙钛矿薄膜的基本性质。（a，b）吸收谱图；（c）PFM测试的面内相位图；（d）施加电压条件下的PL光谱增强图

原位动态可逆调控为开发基于锰离子的新型光电子器件提供了可能。研究团队探索了一种集成氮化镓发光二极管、铁电钙钛矿薄膜的光电系统原型，成功实现了多态信号编码和逻辑与门。这个简单但有效的系统突出了我们的材料在信号处理和数据存储方面的先进应用的适用性，为高效，紧凑和通用的设备铺平了道路。

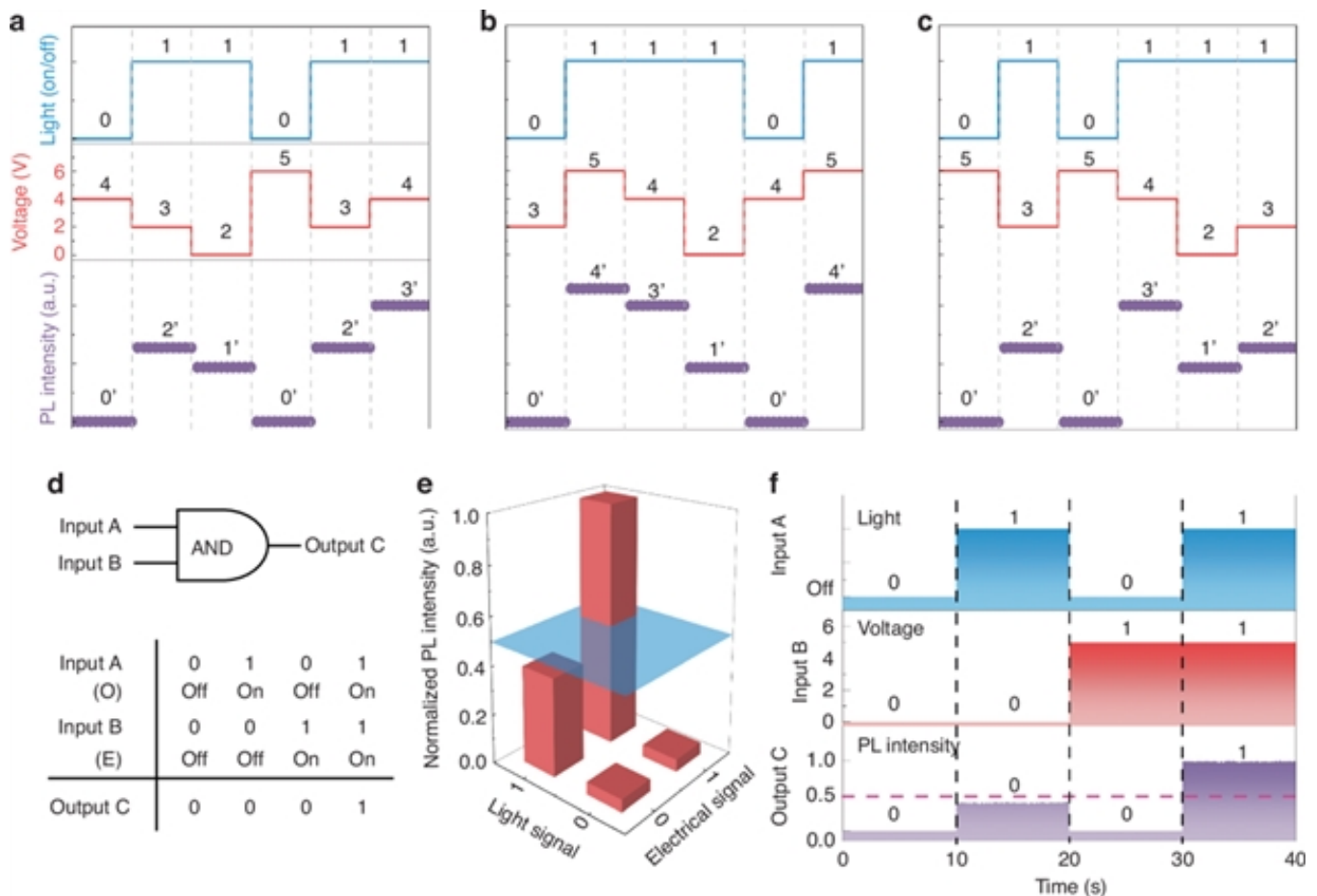


图3：锰离子发光调控的应用。（a-c）用于多态信息编码，可实现55个信息状态；（d-f）用于逻辑与门和动态运算

总结与展望

该研究阐明了均匀相分布在制备准二维钙钛矿铁电薄膜中的关键作用，并开发了一种通过加入MnBr₂来调节结晶动力学以实现纯相分布的新策略。基于钙钛矿铁电薄膜成功地实现了锰离子发光的电场原位非易失、可逆调控，并展示了其在信息编码和逻辑运算原型器件中的应用潜力。这项工作为制备高性能的准二维钙钛矿铁电薄膜提供了有效的方法，并为进一步探索新型铁电材料用于各种光电应用提供了策略。未来的工作中，研究团队将继续对该材料进行优化，探索这种铁电材料在计算应用中的可能性。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01874-2>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：黎大兵等 来源：《光：科学与应用》

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](https://www.iikx.com)转发