界面工程：有效提升钙钛矿光电二极管性能

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/33371.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！

界面工程：有效提升钙钛矿光电二极管性能。 导读

卤化物钙钛矿(HPs)是指阴离子为卤素（碘（I-）、溴（Br-）或氯（Cl-））的钙钛矿材料。HP基光电探测器(PDs)在薄膜光电器件领域中已崭露头角，广泛应用于医疗成像、高分辨率传感和光学通信等领域。通常，基于 HP的光电探测器采用p-i-n结构，钙钛矿在p型和n型材料的电荷传输层之间。探测率在1012－1013Jones范围内，与非晶硅传感器行业基准相当。利用各种溶液加工技术（如狭缝涂布、喷墨打印等）可极大的降低工业制造的成本。通常，HP器件被认为是缺陷容忍材料，然而，目前已报道的多种陷阱态浓度可高达1014
cm-3，包含结构缺陷、点缺陷和杂质，这些缺陷通常与晶界和界面相关，显著影响器件的性能
。

研究人员试图通过晶界钝化来缓解这些问题。研究表明宽禁带半导体和介电材料作为界面层可有效提高光电探测器性能。在界面处超薄介电层可改变光电探测器内的电场分布，从而有效促进电荷提取。除此之外，界面钝化还可改善载流子限阈作用、减少能带弯曲、降低界面陷阱态密度和提高高频能力。钙钛矿光电探测器的界面钝化研究面临更大的挑战，涉及微晶钙钛矿的晶界和表面钝化，以及与选择性传输层相关的含碘缺陷扩散。在各种可用于钙钛矿基器件钝化的聚合物介电材料中，聚偏氟乙烯（PVDF）由于独特的铁电和介电特性，引起了研究者的广泛关注。

俄罗斯的研究者报道了一种利用P(VDF-TrFE)针对新型微晶钙钛矿（Cs0.2FA0.8PbI2.93Cl0.07）进行界面改性的方法，该成果以Improvement of the perovskite photodiodes performance via advanced interface engineering with polymer dielectric为题发表在Light: Advanced Manufacturing。

基于HP的光电探测器（PDs）的结构示意图以及P(VDF-TrFE)的分子结构如图1所示。

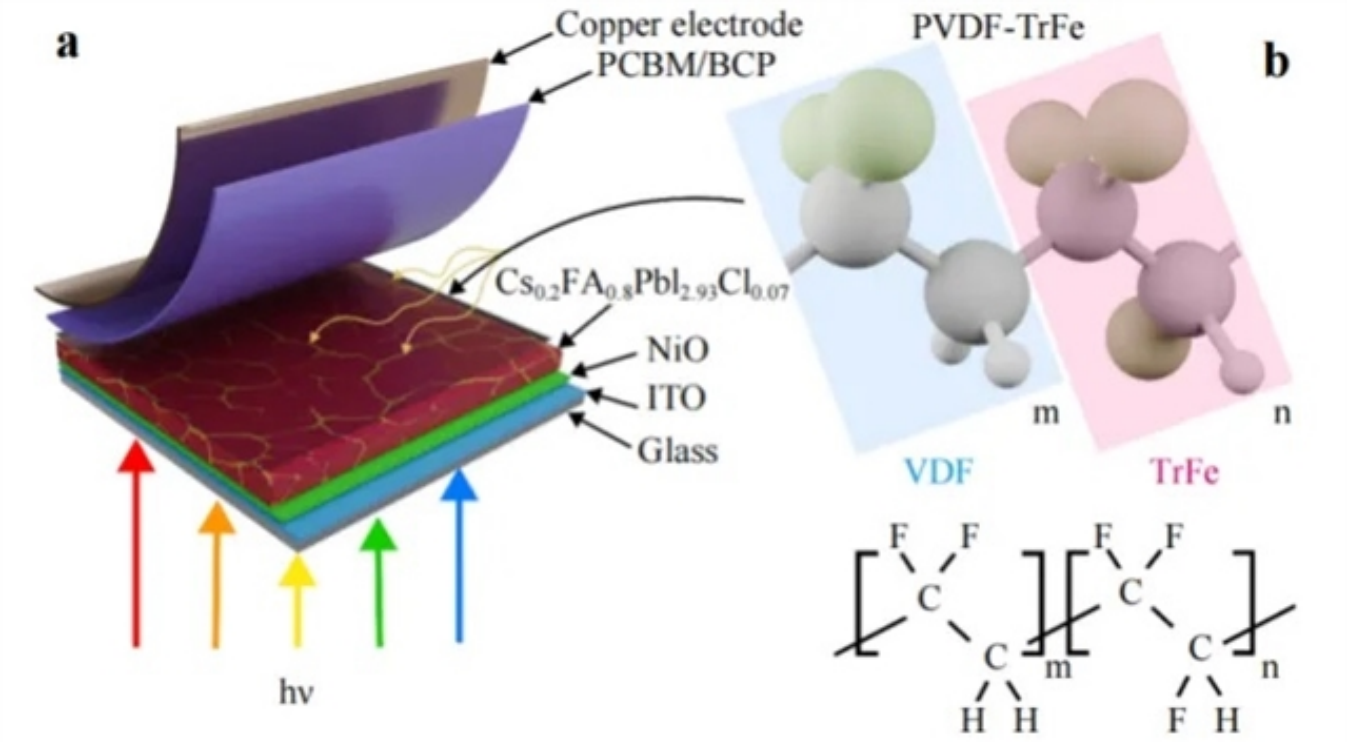


图1：a. 带有P(VDF-TrFE)介电层的光电探测器示意图；b. P(VDF-TrFE)的分子结构示意图

通过吸收光谱和PL光谱证明引入P(VDF-TrFE)后，对钙钛矿的带隙影响较小，但可改善薄膜的光学吸收特性。同时PL峰值红移,表明P(VDF-TrFE)的引入减少了薄膜中的缺陷态，提高了光生载流子的寿命。通过开尔文探针原子力显微镜（KPFM）测量了不同样品的功函数（Wf）。引入P(VDF-TrFE)后，显著降低了钙钛矿薄膜的功函数。通过时间分辨光致发光（TRPL）测量了不同样品的载流子寿命，引入P(VDF-TrFE)后，减少了非辐射复合过程,延长了载流子的寿命。通过伏安特性（J-V曲线）测量了样品的暗电流和探测器特性。P(VDF-TrFE)的引入显著降低了暗电流，改善了器件的整流特性，减少了非理想因子和反向饱和电流（J0）。通过光电流响应测量了样品的光电性能和响应速度，引入P(VDF-TrFE)后，探测器的上升时间为4.6 μs，下降时间为6.5 μs；显著提高了器件的响应速度，如图2所示。通过频率响应测量，器件的F3dB为76.8 kHz，表明P(VDF-TrFE)的引入提高了器件的带宽。在70 ° C下，经过250小时的热稳定性测试，所有样品的响应速度下降可以忽略不计。在60-80%的高湿度条件下，经过长时间暴露，样品的光电性能未受影响。通过光电诱导电压光谱（PIVTS）和阻抗谱（AS），研究了P(VDF-TrFE)对钙钛矿薄膜中费米能级钉扎和陷阱态的影响机制。P(VDF-TrFE)的引入显著降低了费米能级，减少了α缺陷（Ea~0.7-0.8 eV）的贡献，并引入了β缺陷。这表明P(VDF-TrFE)通过重新配置缺陷态，减少了非辐射复合，提高了器件性能。

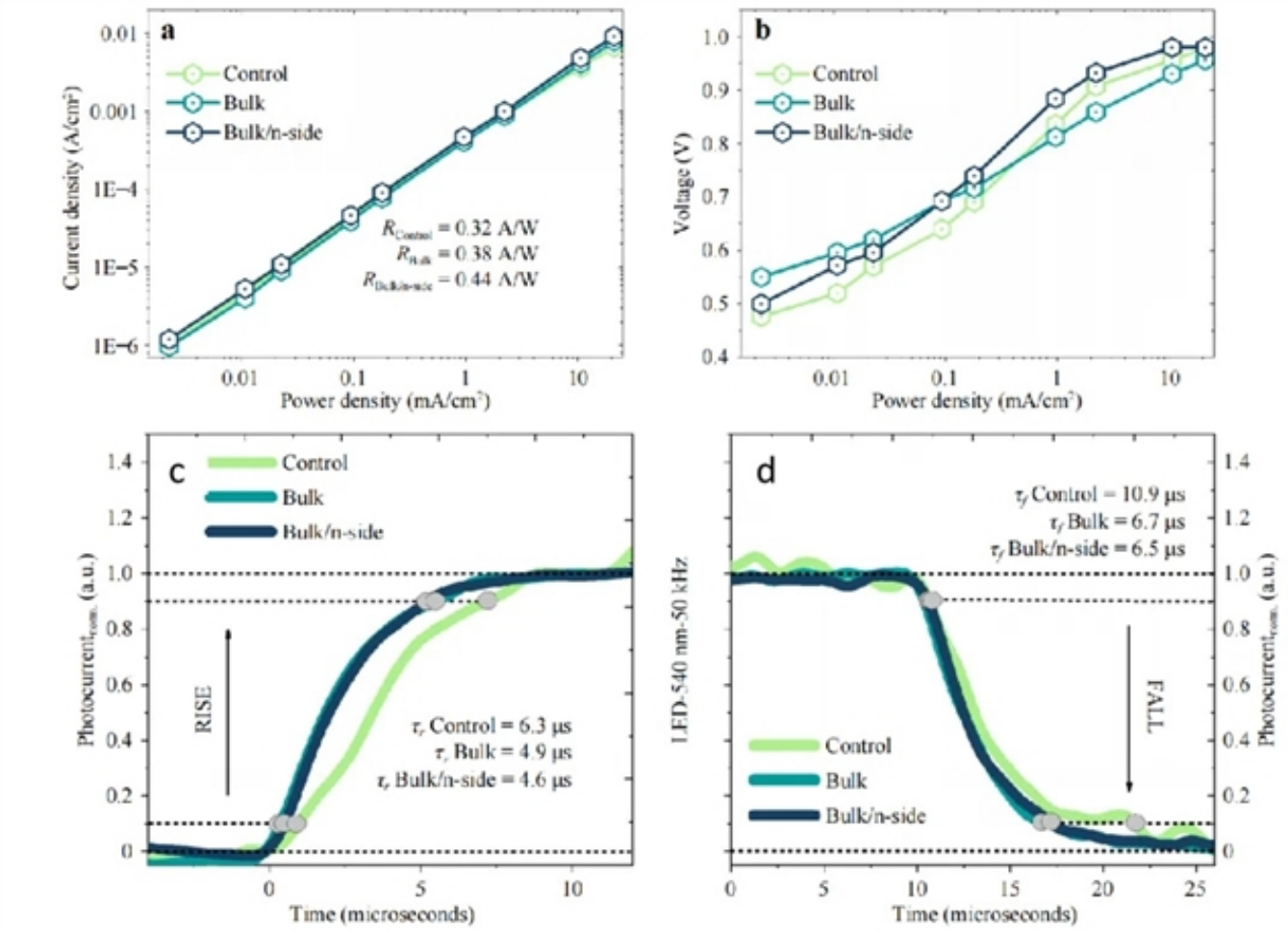


图2：a钙钛矿探测器改性后Jsc与P的线性曲线图；b Voc与P的关系曲线图。c器件上升时间响应动态特性；d器件的下降时间d响应动态特性

文中采用x射线非直接探测器系统来验证有机介电材料P(VDF-TrFE)进行界面钝化后的钙钛矿光电探测器的性能，如图3所示。使用基于钨管的X射线源和商业CsI条作为闪烁体，CsI吸收电离辐射时会发出绿光（~520 nm），在其后放置了钙钛矿光电探测器。从闪烁体光分析信号上升曲线表明，引入P(VDF-TrFE)后光响应幅度显著增加。信噪比（SNR）提高到59。

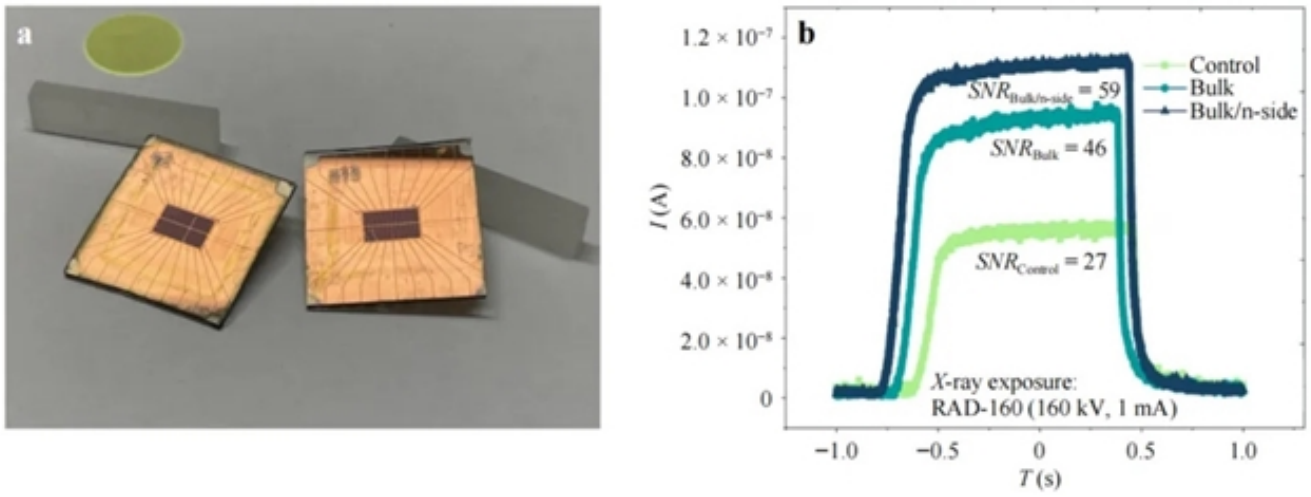


图3: a. 钙钛矿光电探测器照片；b. X射线通量（钨管源）诱导下，探测器对闪烁CsI光进行转换的信噪比（SNR）测量结果。信号曲线对应于X射线源的开启状态

研究者针对P(VDF-TrFE)的界面钝化机制进行了分析。介电材料P(VDF-TrFE)通过诱导费米能级钉扎，使CsFAPbI3费米能级由4.85 eV变为4.16-4.28 eV。这种调整重新配置了能级对齐，实现了更高效的载流子收集。在低浓度下补偿了与碘分子位置相关的带电离子缺陷，从而改善了探测器特性。此外，P(VDF-TrFE)的铁电性质并未导致不希望的迟滞或积累效应。介电界面层减少了非理想因子和暗电流。钝化后的探测器的响应度为0.44 A/W。由于减少界面处的非辐射复合过程的影响，使NEP降低到~10-13 W · Hz-1/2，探测率D*约为10^{12}琼斯。截止频率提高到76.8 kHz。可用于不需要超快响应（GHz范围）的工业或科学设备中的光测量和传感、光开关和编码器、低速光通信系统、某些类型的光学遥控器。

总之，通过P(VDF-TrFE)的界面工程，成功提高了钙钛矿光电探测器的性能，包括更高的探测率、更快的响应速度和更好的稳定性。这种方法为钙钛矿光电器件的界面工程提供了新的见解，有望推动其在光探测、成像和通信等领域的应用。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.37188/lam.2025.024

作者：Andrey P. Morozov 来源：《光：先进制造》

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