强抗辐射特性：钙钛矿电池的太空应用

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/31938.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！

强抗辐射特性：钙钛矿电池的太空应用。 研究背景

钙钛矿材料是一种新兴的多功能光电材料。通式为APbX3（A是阳离子，可以是有机甲基铵（MA+）或甲酰胺（FA+），或者是无机铯（Cs+）；X是Br、Cl或I的阴离子），钙钛矿材料的优异特性，使其在太阳能电池、光电探测器、发光显示等领域引起了研究者的广泛关注。

由于太空环境不包含氧气和水分，预计钙钛矿太阳能电池的使用寿命将比在地球应用中更长。在太空中更危险的是高水平的电离辐射，其特点是总电离剂量（TID）参数。据估计，在20年的运行中累积剂量可以达到1000 kRad（10 kGy）。许多研究人员发现各种钙钛矿材料对高能电子、质子和硬电离辐射（如X射线和伽马射线）具有惊人的高抗性。这种卓越的抗辐射特性使得钙钛矿半导体家族成为单结和多结太阳能电池在太空环境中的理想候选材料，还可用于太空环境的X射线和伽马射线探测器。

研究用于太空的材料的辐射硬度的一种方法是将它们暴露于电离源，如60Co或137Cs，光子能量分别为1.1 MeV和662 keV。大量工作都集中于研究MAPbI3、FAPbI3、CsPbBr3等钙钛矿材料的伽马射线稳定性。也有针对混合阳离子和混合卤化物的研究，他们在伽马射线辐照下都出现了相分离。然而，这种相分离具有可逆性的。例如FA0.95Cs0.05PbI2.7Br0.3在200 krad（1 kGy）暴露后是稳定的，并且在暗存储后完全恢复到初始状态。

钙钛矿材料Cs0.17FA0.83PbI1.8Br1.2具有1.74 eV的直接带隙，是一种适合串联太阳能电池技术的宽带隙（WBG）材料，其作为串联太阳能电池的顶部电池材料已经开展了广泛的研究，但在抗辐射方面的研究相对较少。

研究简介

近日，俄罗斯的研究人员首次报道了CS0.17FA0.83Pbl1.8Br1.2钙钛矿薄膜和太阳能电池在伽马射线下的复合动力学和缺陷浓度。结果表明，适度剂量(高达10 kGy)的伽马射线能够钝化激活能约为0.5 eV的缺陷，同时形成新的缺陷，导致扩散系数和移动离子的迁移剧增。这两个相反方向的过程使得所研究的材料和太阳能电池在高达10 kGy的剂量下具有高辐射耐受性，证明了Cs0.17FAo0.83Pbl1.8Br1.2太阳能电池可在太空中应用的巨大潜力。

该成果以Effect of gamma-rays on recombination dynamics and defect concentration in a wide bandgap perovskite为题发表在Light: Advanced Manufacturing上。

研究亮点

图1a和b显示了材料在伽马射线辐照下的相分离和可逆过程。未辐照样品的PL峰位于729 nm，在6 kGy辐照下表现出轻微的蓝移，在10 kGy辐照下表现出明显的蓝移。有趣的是，21 kGy的剂量导致了一个可逆的过程，PL峰位移回到729 nm。图1c显示载流子寿命在10 kGy剂量下最大为55ns。高达10 kGy的适度剂量引发了缺陷态的重新分布和部分钝化，这导致载流子寿命和复合率的增加。在伽马射线剂量下TRPL动态与稳态PL的趋势相同——两种分析都显示出非线性行为，且在10 kGy剂量下达到最大值。

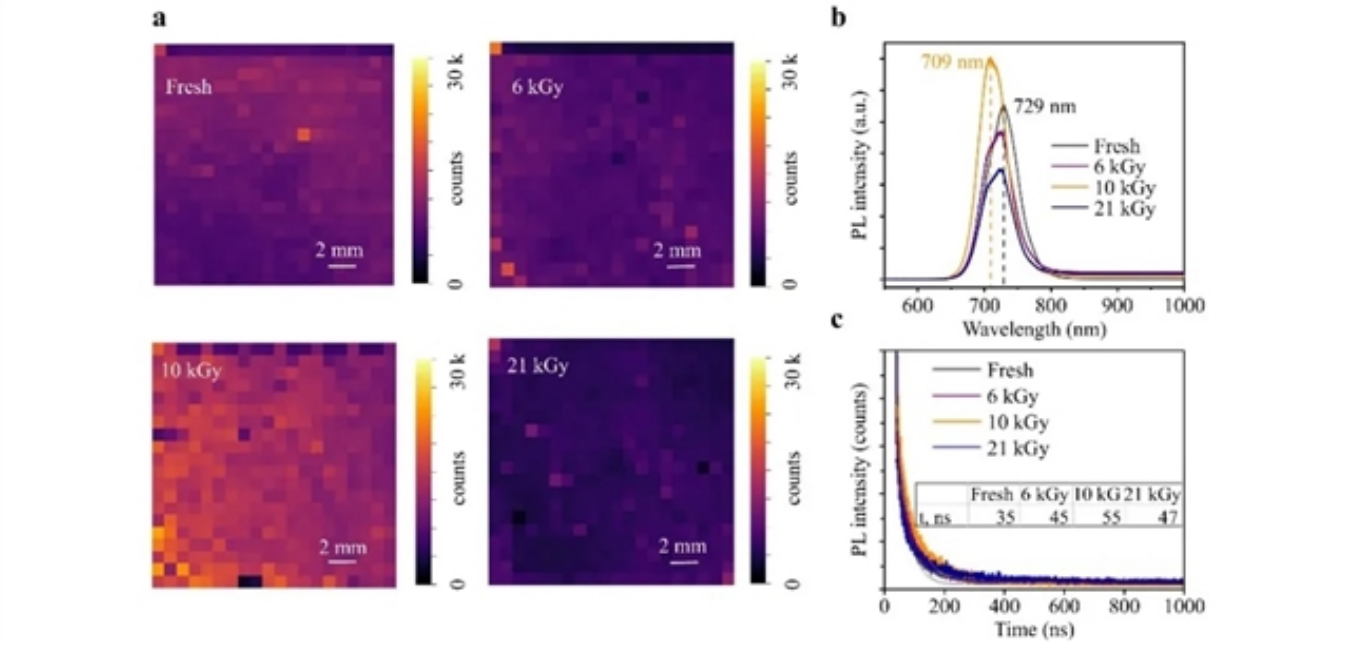


图1伽马射线辐照钙钛矿薄膜的光致发光(PL)图谱比较a和光致发光峰位b。新鲜和辐照钙钛矿薄膜的时间分辨光致发光(TRPL)衰减曲线c。

在图1b中展示的PL光谱上观察到了一个有趣的现象。经过伽马射线辐照的薄膜倾向于蓝移，10 kGy剂量后偏差最大。未辐照样品的PL峰729 nm对应于1.7 eV的带隙，这略低于Cs0.17FA0.83PbI1.8Br1.2钙钛矿应有的值。这可能是由于PL设置中的激光焦点更接近薄膜表面，那里积累了碘。激光焦点区域碘含量较少导致带隙增宽和PL蓝移。有趣的是，10 kGy辐照钙钛矿薄膜的709 nm PL峰对应于1.75 eV的带隙，这正是Cs0.17FA0.83PbI1.8Br1.2钙钛矿的确切值，这也说明由伽马射线诱导的缺陷修复机制。

如图2所示，Cs0.17FA0.83PbI1.8Br1.2太阳能电池在伽马射线辐照前后，开路电压（VOC）在所有剂量下几乎保持不变，偏差在3－4%之间，而填充因子（FF）特别是在21 kGy剂量后下降了7%，PCE和Jsc路电流也展示了相似的趋势。

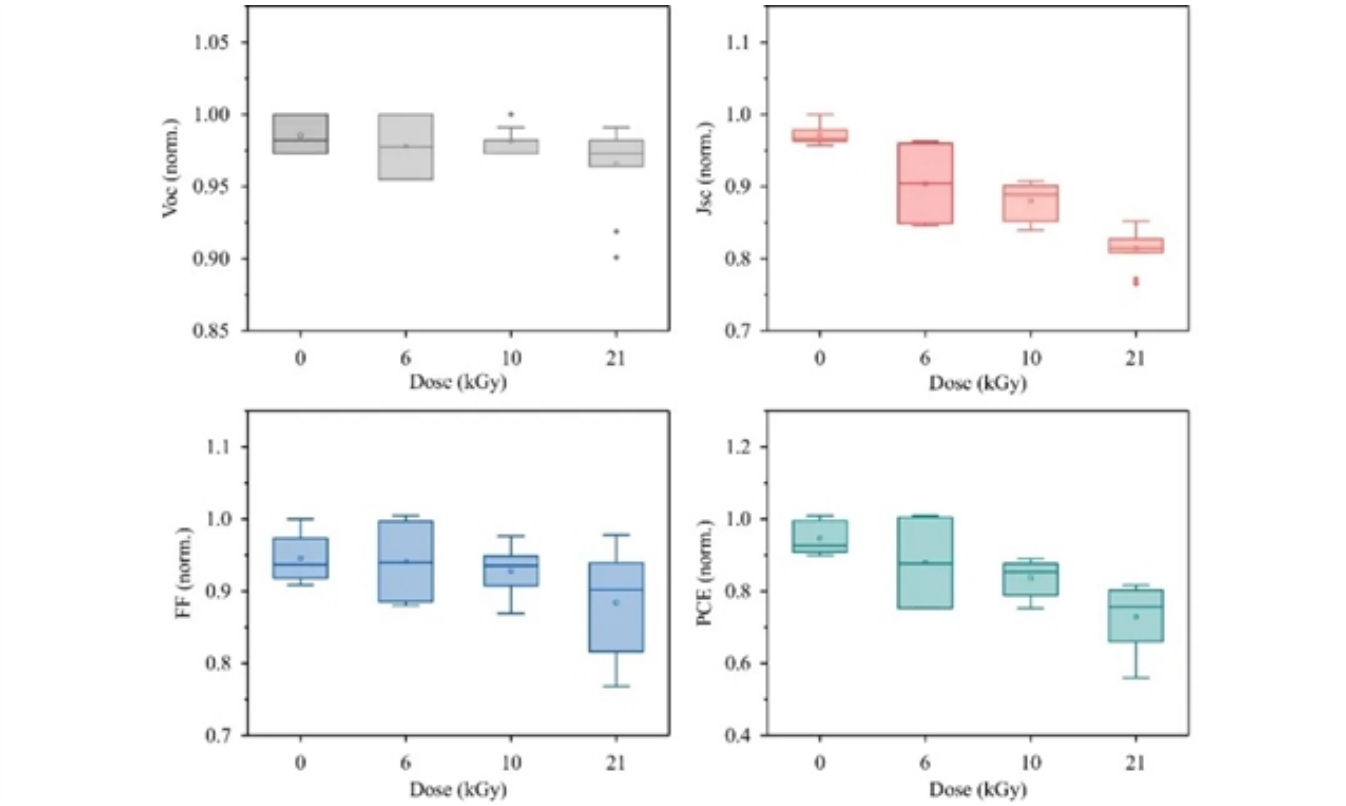


图2：伽马射线辐照前后太阳能电池特性的比较。

当伽马射线与物质相互作用时，在伽马光子激发的电子从物质中逸出，留下未复合的空穴。典型的钙钛矿多晶薄膜有许多界面缺陷，其中一些带有负电荷。这些带负电的缺陷态在与伽马射线相互作用后湮灭，减少了非辐射复合。当带负电缺陷的比例较高时，观察到复合动力学的改善和缺陷态的减少。当伽马射线相互作用后新形成的缺陷多于被钝化的缺陷时，进一步积累剂量会导致薄膜质量下降和向非辐射复合的转变。

实验结果表明，原始样品在近接触区域有较高的碘相对浓度，而辐照样品沿电流流动方向的碘分布更为均匀。由于离子行为的非肖特基型，移动离子迁移的机制不能简单地通过假设只有Ii和VI的形成和相互作用来解释，因此这种复杂行为背后的确切机制仍然不清楚，期待未来进行深入研究。

结论

总之，在10 kGy剂量下，钙钛矿薄膜表现出光致发光增强和载流子寿命的增加，而暴露于10 kGy剂量的太阳能电池具有最低的理想因子。Cs0.17FA0.83PbI1.8Br1.2钙钛矿薄膜和太阳能电池可以抵抗高达10 kGy的剂量，这足以在太空环境中运行。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.37188/lam.2024.053

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等事宜，请与我们接洽。
作者：Aleksandra G. Boldyreva 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