
“双溶剂”策略：使钙钛矿电池既高效又稳定

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/36434.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！

“双溶剂”策略：使钙钛矿电池既高效又稳定。 导读

宽禁带钙钛矿 (≥ 1.65 eV) 被视为叠层、半透明及室内光伏的黄金材料，却长期受困于相分离、缺陷多、大面积制备难三大顽疾。溶剂工程是实现高质量钙钛矿成膜的关键。针对传统 MAPbI₃ 的溶剂工程已进行了广泛的研究，宽禁带钙钛矿材料在该领域仍属空白。

俄罗斯Parfenova团队独辟蹊径，采用双溶剂工程策略，在经典DMF中引入DMSO、NMP或AcN，结果表明，任何 DMF-X 二元溶剂体系均可提高太阳能电池效率，但最佳 X 溶剂比例及其作用机理各不相同。其中，添加 2.4 M DMSO 最能提升实验室器件的效率与稳定性；而引入 AcN 则可制备出有效面积 25 cm²、效率达 10% 的微型模组。该成果以 Enhancing the MA-free mixed halide perovskite efficiency and stability through bi-solvent engineering approach 为题发表在 Light: Advanced Manufacturing。

图1展示了 n-i-p 器件结构 (ITO/SnO₂/PCBA/钙钛矿/PTAA/VO_x/Al) 以及双溶剂中不同辅助溶剂及浓度对电池关键参数——光电转换效率 (PCE)、开路电压 (VOC)、短路电流密度 (JSC) 和填充因子 (FF) 的影响。纯 DMF 基准体系的效率约为 11 – 12%；加入第二种溶剂后，效率分别提升至：2.4 M DMSO 体系 12 – 13.5%，0.72 M NMP 体系 12 – 13%，1.2 M AcN 体系 11.5 – 12.5%。可以观察到，AcN 的加入主要使 FF 从 60% 提高到 67%；NMP 的加入将器件 JSC 从 17.3 提升至 18.3 mA/cm²；而 DMSO 则同时提升 JSC (17.3 → 18.5 mA/cm²) 和 FF (60 → 67%)，带来 PCE 的最大增幅。这表明不同溶剂对器件性能的影响机制各不相同。

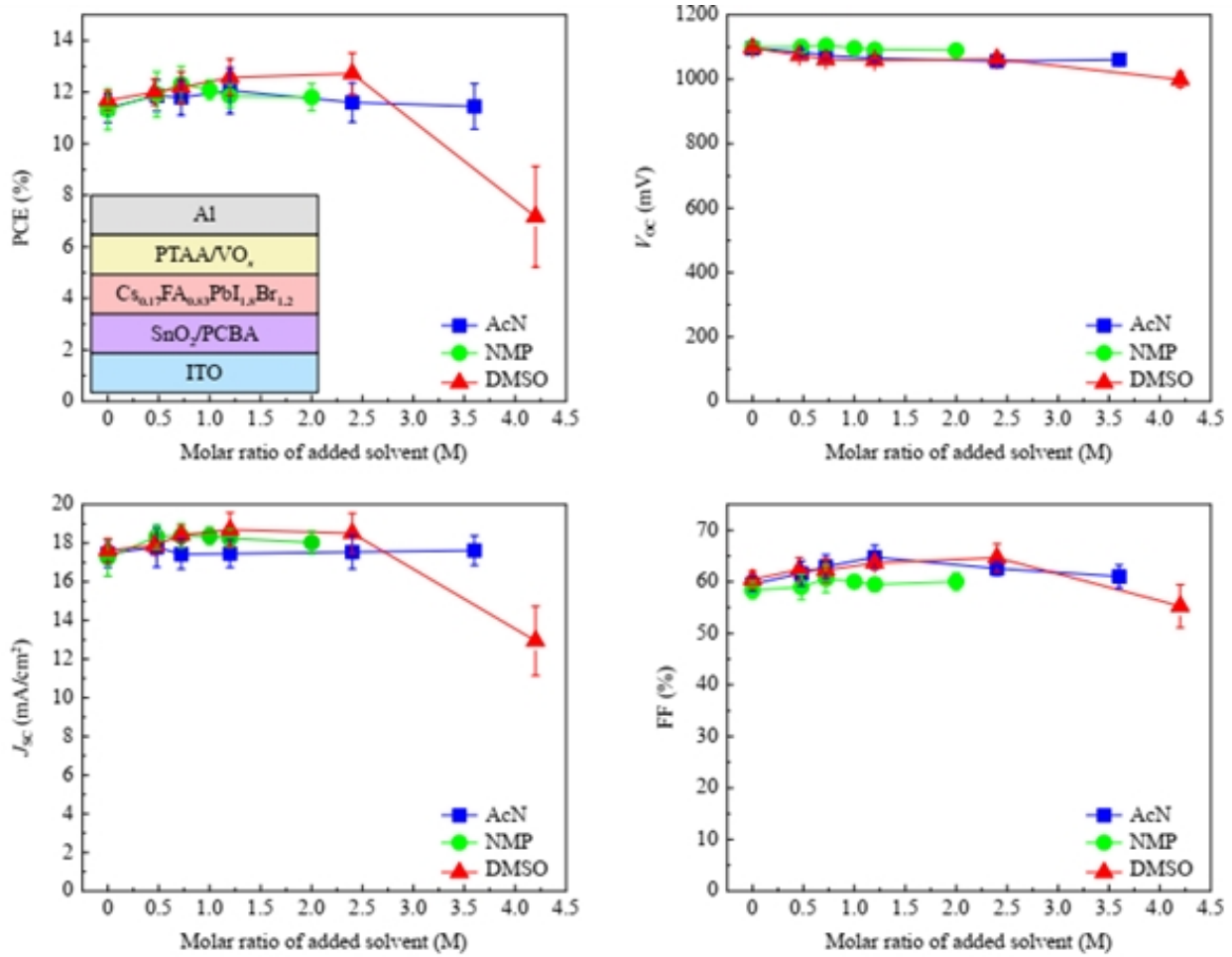


图1：不同双溶剂工程对太阳能电池关键参数的影响。

稳态荧光测试表明，仅加入 DMSO 的双溶剂显著提高了荧光强度。时间分辨荧光（TRPL）用于评估不同样品的相对缺陷密度：载流子寿命缩短对应更快的荧光衰减。TRPL测试给出了平均载流子寿命随辅溶剂浓度的变化规律：所有辅溶剂的加入均延长了载流子寿命，且 τ 的峰值与器件 PCE 的峰值浓度一致——AcN 在 1.2 M、NMP 在 0.72 M、DMSO 在 2.4 M，说明器件性能提升与宽禁带钙钛矿缺陷密度降低密切相关。

为深入理解溶剂对器件缺陷态的影响，开展了 Suns-VOC、SCLC 和阻抗谱测试（图2）。SCLC 采用电子单极器件结构 ITO/SnO₂/PCBA/钙钛矿/PCBM/BCP/Mg/Al，通过低功函数 Mg 电极抑制肖特基势垒，并用脉冲 SCLC 减少离子迁移干扰。Suns-VOC 给出的理想因子显示：纯 DMF 最高（1.45），AcN 1.2 M（1.29）、NMP 0.72 M（1.31）、DMSO 2.4 M（1.21）依次降低；SCLC 得到的电子陷阱密度亦呈同样趋势，DMSO 2.4 M 陷阱浓度最低，与理想因子结果一致。阻抗谱在 100 mW/cm² 和 3 mW/cm² 光照下进行。NMP 0.72 M 和 DMSO 2.4 M 在两光照强度下均表现出更高的复合阻抗，显示复合速率低于纯 DMF 和 AcN 1.2 M。界面陷阱相关的低频电容 CLF 在 100 mW/cm² 下差异不大，但在 3 mW/cm² 下 AcN 体系的 CLF 最高，与 SCLC 的高陷阱密度一致。DMSO 体系在 100 mW/cm² 时出现独特的中频半圆，表明高载流子密度下电荷提取受限。

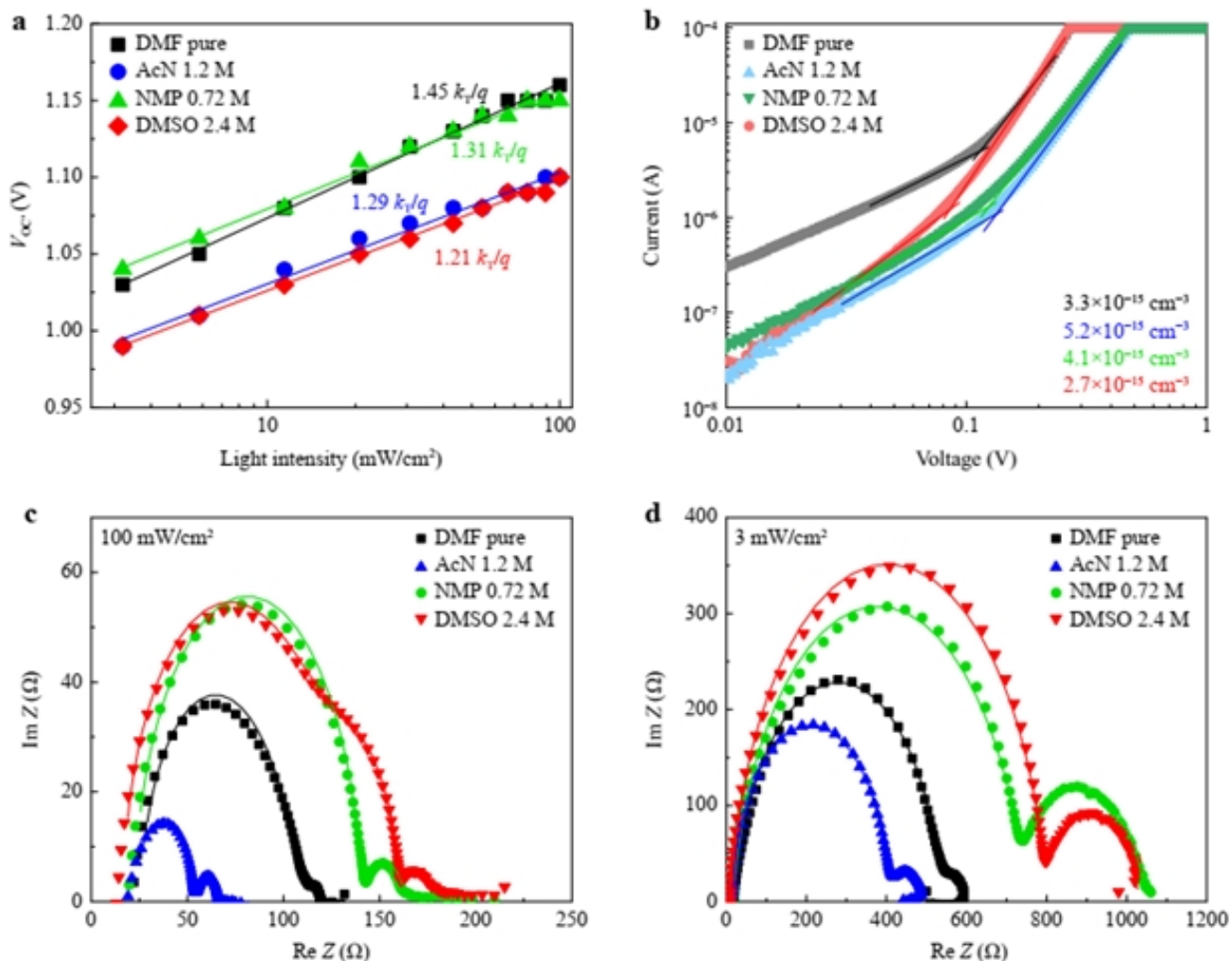


图2：基于四种钙钛矿层溶剂体系（纯 DMF、AcN 1.2 M、NMP 0.72 M、DMSO 2.4 M）的 Suns-VOC、SCLC 曲线和不同光照下的阻抗谱曲线

三种辅助溶剂 AcN、NMP 和 DMSO

均对器件参数产生积极作用，但各自提升效率的机理并不相同。加入 2.4 M DMSO (17.2 vol%) 同时提升 J_{sc} 与 FF。电流显著增长主要归因于褶皱形貌和晶粒长大 (SEM、截面 SEM 及 AFM 均可见)，晶粒质量与尺寸提升也改善了 FF，稳态荧光 (SSPL) 增强，表明自由载流子浓度增加；引入 DMSO 加剧了界面复合，并产生从钙钛矿到传输层的注入势垒，使 V_{oc} 轻微下降、100 mW cm^{-2} 阻抗谱出现第三个半圆、RLF 下降及 CLF 上升，理想因子 1.21 最接近 1，结合低 V_{oc} ，说明界面 Shockley – Read – Hall 复合占主导；加入 0.72 M NMP (7 vol%)，提高 J_{sc} ，FF 微增， V_{oc} 几乎不变，厚度未变，载流子寿命延长、理想因子降低，表明体相质量略有改善，但晶界缺陷依旧存在，阻抗 CLF 与 RLF 几乎不变，说明 NMP 不恶化钙钛矿/CTL 界面，这一点与 DMSO 和 AcN 不同；加入 1.2 M AcN (8.6 vol%)，使 FF 从 60% 显著提升至 67%。薄膜体相质量显著改善，表面平整、缺陷减少，串联电阻下降，提升 FF。光稳定性测试表明，双溶剂体系均优于纯 DMF，DMSO 2.4 M 薄膜最稳定。

在 25 cm^2 (有效 13.2 cm^2) 六片串联模组测试中 (图3) AcN 1.2 M 体系效率 9.7%， V_{oc} 与 FF 最高；纯 DMF 次之；DMSO 与 NMP 体系因褶皱或体相缺陷导致 FF/ V_{oc} 骤降，旋涂放大困难。

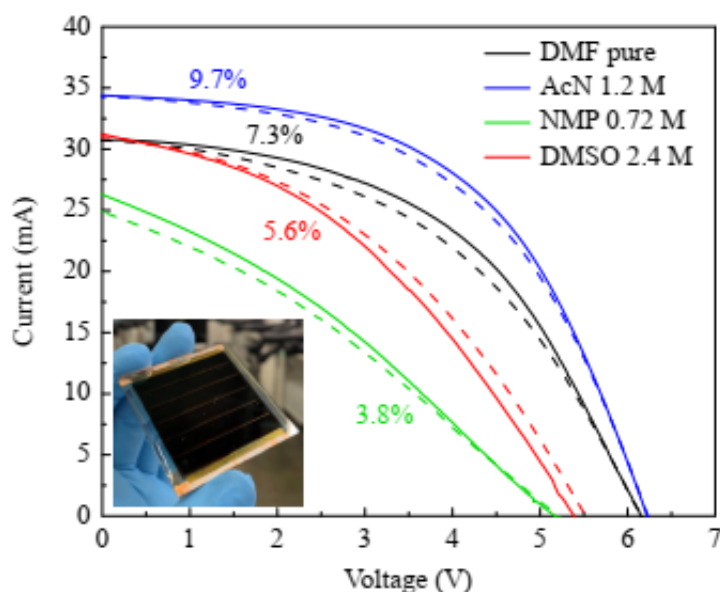


图3：钙钛矿微型组件的J-V 曲线

总之，DMF 与 AcN、NMP、DMSO

三种双溶剂体系均能提高实验室器件效率，但所需浓度各异，DMSO

优化体相却牺牲界面，NMP 对界面最友好，AcN 体相和界面综合最佳且最适于放大；后续工作需深入解析界面陷阱并匹配宽带隙专用传输层，以进一步提升效率与稳定性。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.37188/lam.2025.039>

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：Olga R. Parfenova 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](https://www.iikx.com)转发