

---

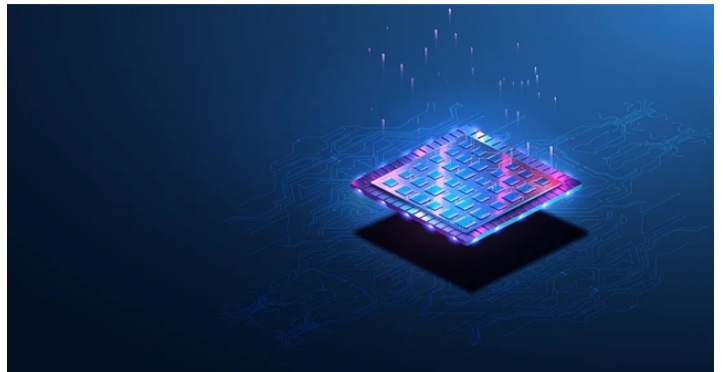
# 基于钙钛矿量子点的高效近红外发光二极管

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/31931.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！

基于钙钛矿量子点的高效近红外发光二极管。



## 导读

近红外发光二极管（NIR-LEDs）在光电领域拥有广泛的应用前景，尤其在传感、显示和生物医学监测等方面。然而，基于钙钛矿量子点（PQDs）的NIR-LEDs仍面临着外量子效率（EQE）较低的挑战，特别是与可见光范围的LED相比。其根本问题之一在于量子点表面存在动态缺陷：配体的脱落和离子迁移到界面，形成了载流子复合的中心，从而导致电流损失并影响器件性能。

近日，苏州大学廖良生教授与王亚坤副教授团队在国际光学顶尖期刊《Light: Science Applications》上发表了最新研究成果，提出了一种创新的液态双齿配体处理策略。该策略通过提供更强的结合力来抑制配体损失，有效避免了界面陷阱的形成。通过该方法，量子点表面的配体覆盖度得到了显著提升，同时导电性大幅改善，使得NIR-LEDs的外量子效率(EQE)达到了23%，是对照样品的两倍，创下了目前基于PQD的NIR-LEDs的最高记录。实验还表明，配体处理后的量子点薄膜具有低至1.6V的工作电压，在高效电流运输的同时避免了载流子损失，充分展示了其在高性能NIR-LED中的应用潜力。该成果展示了通过化学处理方法提高钙钛矿量子点基NIR-LED性能的有效途径，为未来光电器件的设计提供了新思路。

## 研究背景

量子点的表面通常被配体覆盖，这些配体在某些情况下会脱落或移位，形成新的陷阱点，捕获载流子，导致电流损失，影响LED的性能。传统的长链配体，虽然能够覆盖较大范围的量子点表面，但由于其体积较大，难以完全覆盖量子点表面，导致表面仍存在未能有效钝化的缺陷。为了解决这个问题，研究人员提出了一种新的策略，通过使用短链配体来提升量子点的表面覆盖度。然而，短链配体的结合力较弱，容易在器件制备过程中脱落，导致新的表面缺陷。如何找到既能提

供紧密结合，又能保持表面完整覆盖的配体，成为了提升NIR-LEDs性能的关键。

## 创新研究

本文采用的甲脒硫氰酸盐（FASCN）配体是一种液态双齿配体，其常温下的液态特性使其便于在量子点（QD）表面进行处理，且不受溶解度和溶剂极性的影响。此外，FASCN分子中含有\*\*硫（S）和氮（N）\*\*两个功能性原子，能够通过这两个原子与金属离子（如 $Pb^{2+}$ ）形成双重配位键，从而增强其对量子点表面的稳定结合。理论计算结果表明，FASCN与量子点的结合能显著高于油胺（OAm）、油酸（OA）等长链配体，以及MAI和FAI等常用短链配体（图1a）。这一特性使得FASCN能够在有效钝化量子点表面缺陷的同时，避免在器件制备过程中量子点表面配体的脱落（图1d）。如图1b和1c所示，FASCN处理后，量子点薄膜表现出了更高的荧光量子产率和延长的荧光寿命，进一步验证了这一点。

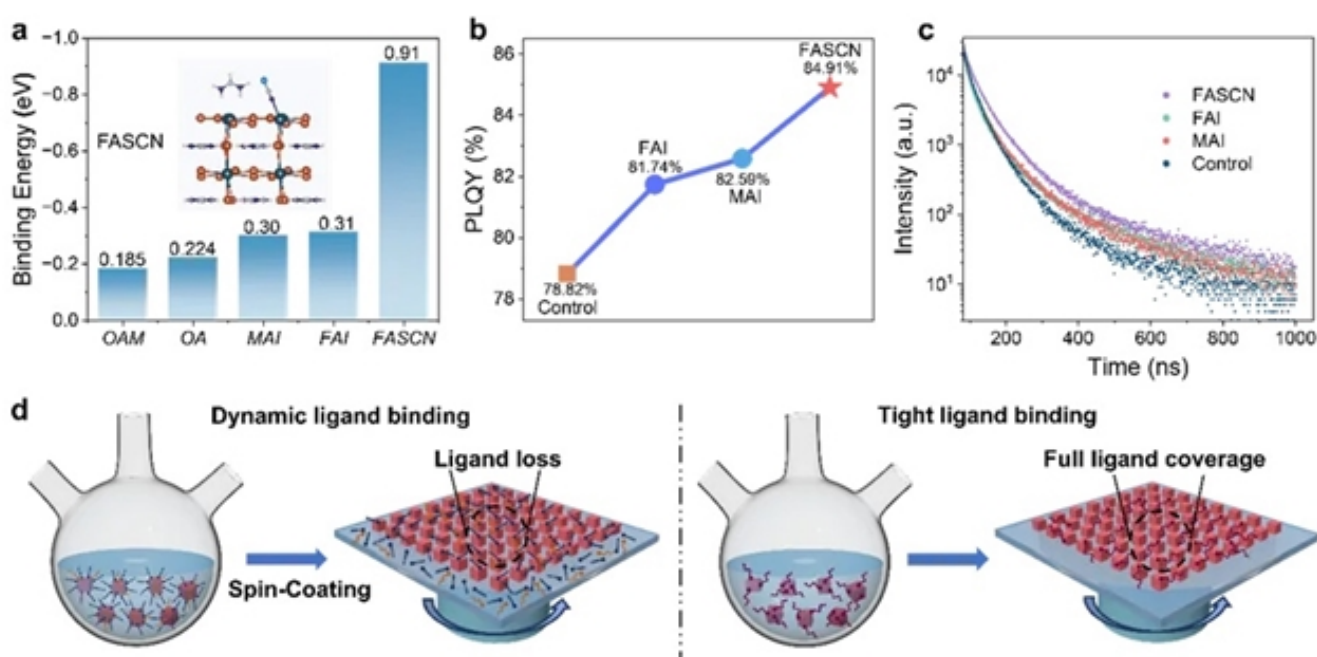


图1. (a)不同配体与量子点表面的结合能。(b,c)不同配体处理后的量子点的荧光量子产率和荧光寿命。(d)旋涂过程中量子点表面的配体动态示意图。

配体处理后，FASCN成功替换了量子点表面的长链配体，从而显著改善了量子点薄膜的导电性。为此，我们构建了一种双端器件来测试薄膜的导电性，这种方法能够检测薄膜内部的电流大小。通过电流-电压（I-V）曲线计算，配体处理后的QD薄膜导电性提高了8倍。随后，我们采用空间电荷限制电流（SCLC技术）测试了单电子和单空穴器件（ITO/ZnO/QDs/POT2T/Liq/Al和ITO/PEDOT:PSS/Poly-TPD/QDs/MoOX/Al）中的电子/空穴迁移率以及缺陷态密度。如图2c和2d所示，配体处理后，器件中的电子和空穴迁移率均得到了提升，且缺陷填充电压有所降低。由此计算得出，处理后的QD薄膜缺陷态密度降低了三倍。

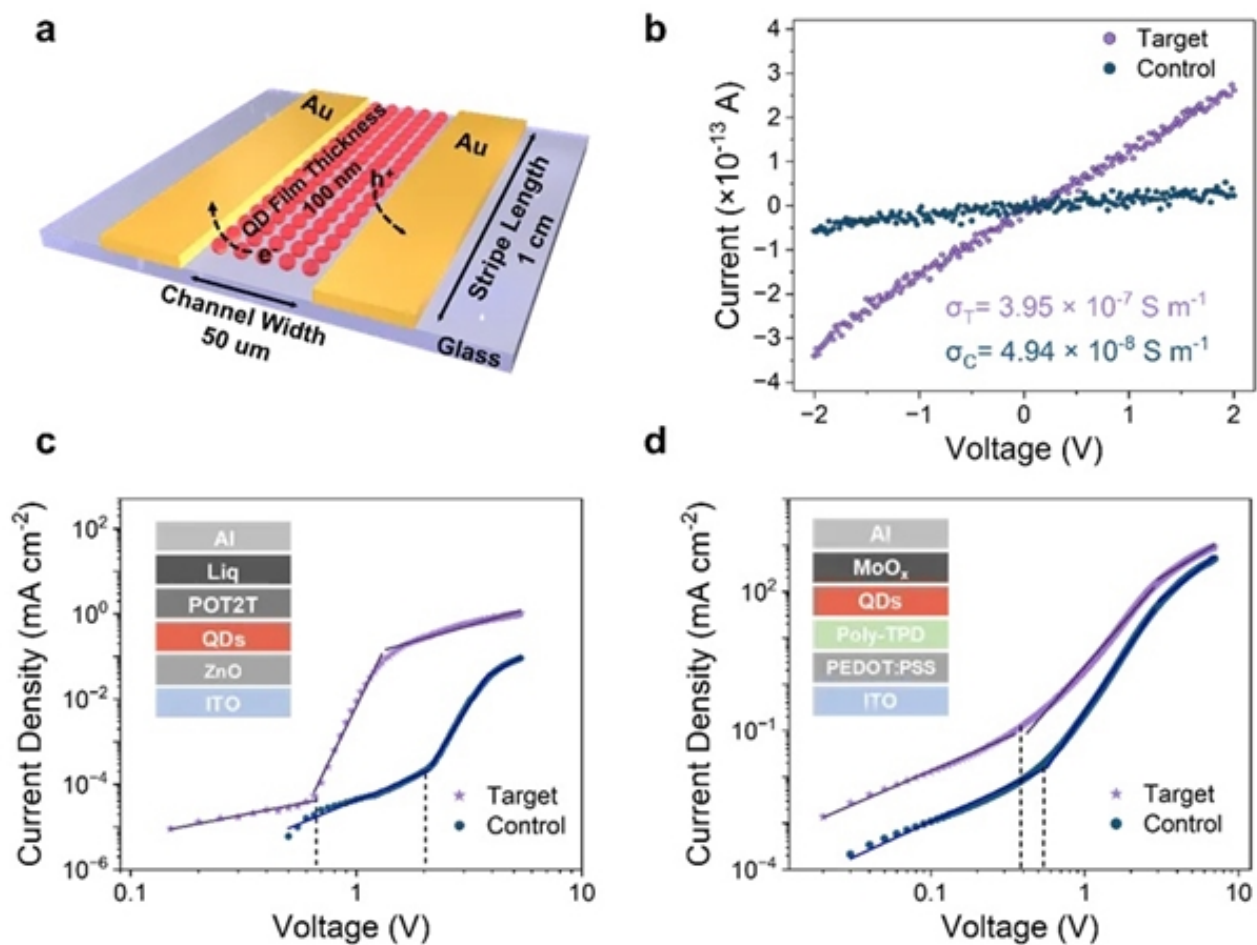


图2. (a)双端器件示意图。(b)双端器件所得的电流-电压曲线。(c)单电子/单空穴器件的电流-电压曲线。

基于具备高PLQY、高导电性和优异载流子传输率的QD薄膜，我们制备了结构为ITO/PEDOT:PSS/Poly-TPD/QDs/POT2T/Liq/Al的近红外LED（图3a）。如图3b所示，优化后的LED设备的最大EQE达到了23%，是原始器件的两倍，且其辐亮度提升了4倍。此外，更稳定的QD薄膜显著提升了LED的工作寿命，起始辐亮度为 $1\text{Wsr}^{-1}\text{m}^{-2}$ 时，目标器件的工作寿命半衰期达到了115分钟，较原始器件提升了5倍。

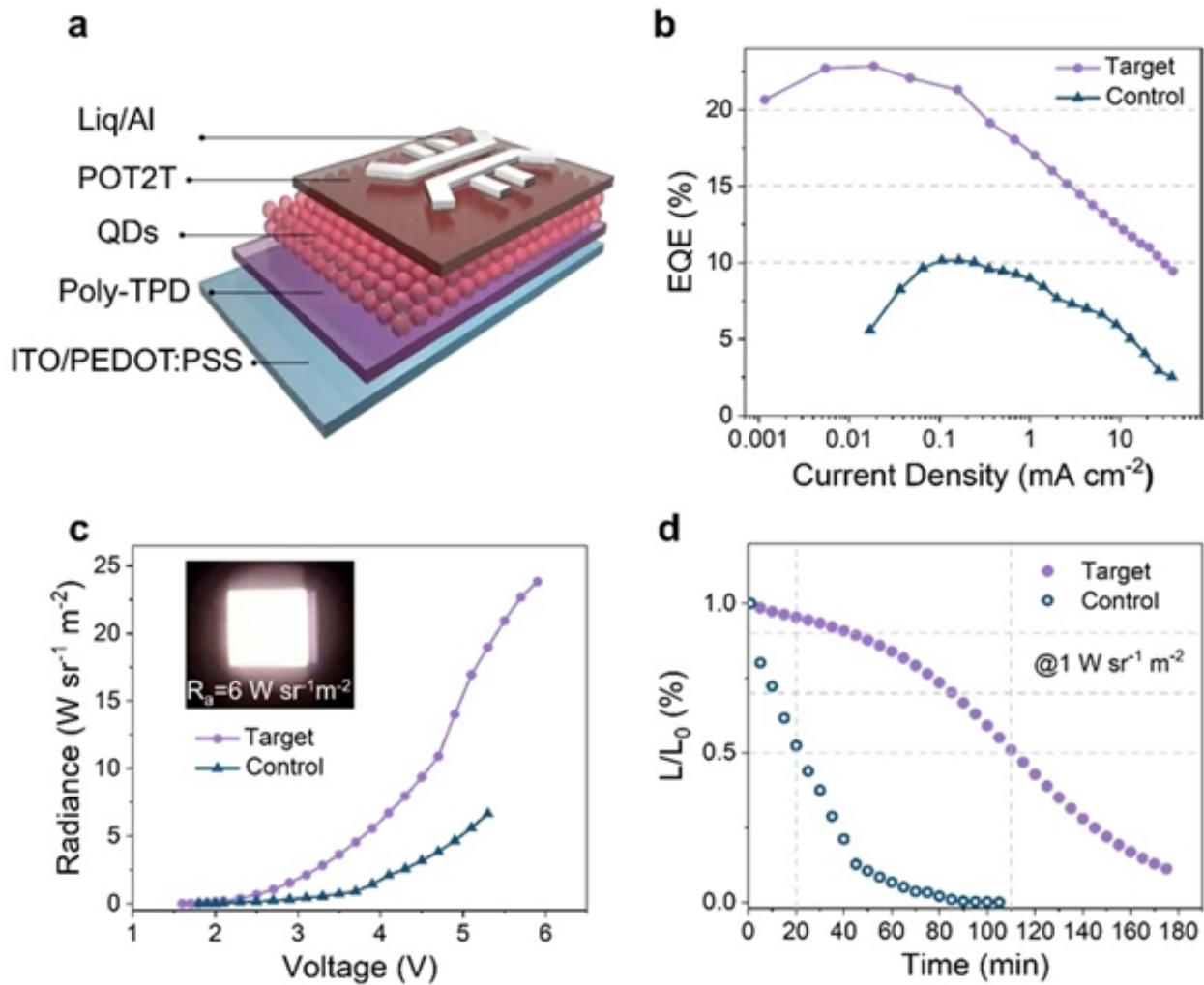


图3. (a) NIR-LED器件结构示意图。(b) EQE-电流密度曲线。(c) 辐亮度( $R_a$ )-电压曲线( $R_a=6 \text{ W sr}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 时由红外相机采集的LED照片)。(d) 器件工作寿命测试曲线 (起始 $R_a=1 \text{ W sr}^{-1} \text{ m}^{-2}$ )

### 应用与展望

本研究提出的液态双齿配体 (FASCN) 处理方法可以有效提高基于钙钛矿量子点 (PQDs) 的近红外发光二极管 (NIR-LEDs) 性能。通过减少配体脱落和界面陷阱的形成, 该方法提高了量子点薄膜的导电性和外量子效率 (EQE), 为 NIR-LEDs 的设计提供了新的解决方案。在光电应用方面, FASCN 处理的 NIR-LEDs 具有较低的工作电压 (1.6 V) 和更高的 EQE (23%), 这使得它们在传感、显示和生物医学监测等领域更有效、更稳定。该方法也可以应用于其他基于 PQDs 的光电器件, 如光电探测器、太阳能电池和激光器等。

尽管本研究取得了显著进展, 但仍有许多需要改进的地方。比如, 如何进一步提高量子点薄膜的稳定性和延长器件的使用寿命, 是未来的研究方向。此外, 探索更多类型的短链配体与 FASCN 的结合, 可以进一步提升材料性能, 降低成本。这些改进将推动 NIR-LEDs 和其他光电设备在实际应用中的发展, 尤其是在便携设备和智能健康监测等领域。(来源: LightScienceApplications 微信公众号)

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41377-024-01704-x>

---

作者：廖良生等 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](http://www.iikx.com)转发