

Keithley 在电致发光技术中的应用

电致发光(Electroluminescence)是指当电流通过某些材料时,该材料会发出光的现象。在电致发光过程中,电子和空穴从电极注入到材料中,并在材料内部结合形成激子,激子随后会辐射性地衰变,从而发出光子。电致发光是有机发光二极管(OLEDs)等有机光电子器件的工作原理,因此提高电致发光效率对于开发高性能有机光电子器件非常重要。

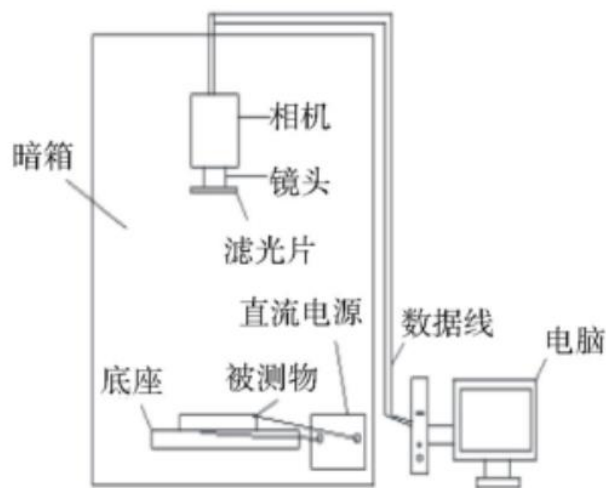
电致发光研究意义

1. 提高发光效率和性能
 - 例如: 研究不同 Al_2O_3 和 Y_2O_3 层厚度对电致发光强度和外量子效率的影响
 - 例如: 优化 Al_2O_3 - Y_2O_3 :Er 纳米层结构,实现最高 8.7%的外量子效率和 0.12%的功率效率
2. 深入理解电致发光机理
 - 分析电流-电压特性符合 Poole-Frenkel 导电机制,电子通过缺陷态跳跃进入导带
 - 探讨热电子直接激发稀土离子的发光机制
3. 为 Si 基光电子器件应用提供潜在光源
 - 电致发光效率优于文献报道的 Si 基发光器件
4. 为光伏电池研究提供检测手段

电致发光技术的应用

1. EL 测试

基于电致发光理论的测试, 简称为 EL 测试。EL 测试常用在光伏行业, 例如在太阳能电池生产中的应用。光伏电池组件缺陷检测是太阳能电池生产过程中的重要环节。EL 测试被广泛应用于电池片的质量检测, 通过 EL 测试, 可以快速、准确地检测出电池片中地裂纹、热斑、金属污染等缺陷, 能够有效合理控制由于工艺参数设置不当或人为因素所引起的组件不良问题。



EL 测试系统

EL 测试技术因其操作简单、成本较低、可重复性好，并且检测速度快等优点，成为目前光伏行业常用的缺陷检测技术之一。

2. 显示器应用

电致发光器件可用于制造显示屏,如有机发光二极管(OLED)显示屏。这种器件具有高亮度、高对比度和宽视角等优点,广泛应用于智能手机、平板电脑和电视等显示设备。

3. 照明应用

电致发光器件也可用于照明,如白光发光二极管(LED)。通过调控发光材料和器件结构,可实现高效、高亮度的白光发射,在通用照明领域具有广阔的应用前景。

4. 新型发光应用

电致发光器件还可用于实现特殊的发光特性,如深蓝色发光。通过优化器件结构和材料,可获得窄带宽、高纯度的深蓝色发光,为新型显示和照明技术提供可能。

电致发光测试内容

1. 发光强度(EL intensity)和注入电流的关系
2. 注入电流和施加电压的关系(I-V 特性)
3. 电流注入机理,如遵循 Poole-Frenkel(P-F)机制
4. 外量子效率(EQE)和功率效率(PE)
5. 发光层厚度对发光性能的影响

电致发光测试方案

Tektronix 吉时利作为小信号领域的测试专家，提供丰富的产品助力电致发光器件的研究。

其中 I-V 特性可以使用 SMU 源表进行测量。SMU 源表系列从 2400 到 2600 系列具有高精度 10nV 电压 0.1fA 电流测试，具备分析仪、曲线追踪仪和 I-V 系统功能，成本更低。它提供高度灵活的 4 象限电压和电流源/载荷，以及精密的电压和电流仪器。这个一体化仪器可以用作：精密电源，具有电压和电流回读功能；真正电流源；数字多用表、测量直流电压、电流、电阻和功率，分辨率 6½ 数位；精密电子载荷；触发控制器。



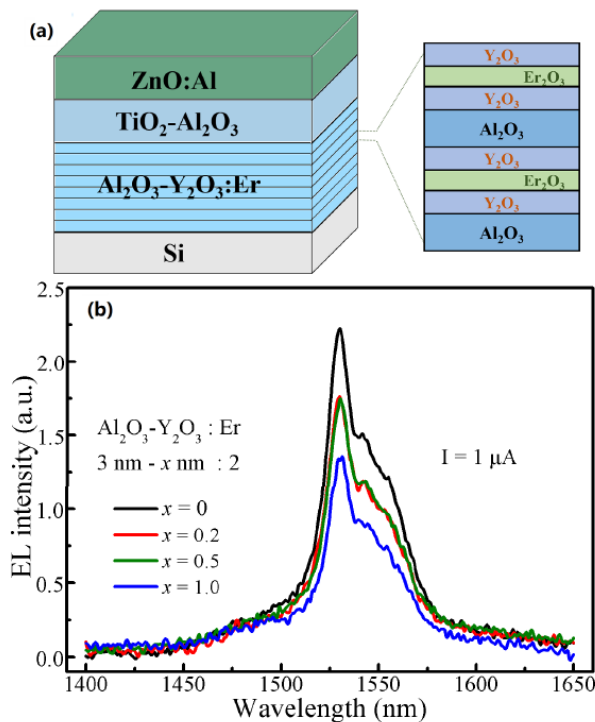
其中电场的注入可以选择 Keithley 6517B。Keithley 6517B 静电计 / 高阻表是全球科研实验室灵敏测量的标准。6517B 把吉时利数十年的弱电测量技术知识融汇到创新的低电流输入放大器中，输入偏置电流 <3 fA，噪声仅 0.75fA p-p，最低电流范围上压降 <20 μ V。对近似理想的电路负荷，电压电路输入阻抗超过 200 T Ω 。这些指标保证了所需的准确度和灵敏度，可以在物理、光学、纳米科技和材料科学等领域准确地进行低电流和高阻抗电压、电阻和电荷测量。内置 ± 1 kV 电压源拥有扫描功能，简化了绝缘材料上的漏流、击穿和电阻测试及体电阻率 (W-cm) 和表面电阻率(W/square) 测量工作。



案例一：利用原子层沉积法在 Y2O3 包层中增强非晶态掺铒 Al2O3 纳米醇酸酯薄膜的电致发光^[1]

该论文介绍了使用原子层沉积(ALD)在硅基底上制备和表征了非晶 Al2O3-Y2O3:Er 纳米层膜。在 Er 掺杂的 Al2O3 层周围引入 Y2O3 包覆层可以提高基于这些纳米薄膜的金属-氧化物-半导体发光二极管(MOSLEDs)的电致发光(EL)性能。0.2 nm 的 Y2O3 包覆层将外量子效率从约 3%提高到 8.7%,功率效率提高近一个数量级至 0.12%。EL 归因于热电子对 Er³⁺离子的冲击激发,这源自 Al2O3-Y2O3 基质中的 Poole-Frenkel 导电机制。经 800°C 退火后,非晶纳米层膜仍保持非晶结构,这有利于来自稀土掺杂 Al2O3 薄膜的 EL 性能。

本文使用 Keithly 2410 源表测量 IV 特性, 使用 Keithley 2410 万用表和 InGaAs 连接, 测试 EL 信号。



案例二：缩小准二维钙钛矿的相分布，实现稳定的深蓝电致发光^[2]

该文件讨论了合成具有窄相分布的准二维钙钛矿,这对于实现稳定的深蓝色电致发光至关重要。溶液加工的准二维钙钛矿通常表现出量子阱宽度分布较广,导致电荷汇聚到最小带隙组分,从而阻碍了深蓝色发射。作者报告了一种合成策略,通过调节薄膜形成动力学,显著缩小了量子阱的分散性。这是通过控制溶剂和反溶剂的同步蒸发实现的。蒸发控制的钙钛矿薄膜表现出最窄的相分布,峰值发射波长为 466 nm,线宽仅 14 nm。使用该钙钛矿薄膜制备的发光二极管在外量子效率为 0.1%时,最大亮度达到 280 cd m⁻²。这种合成方法可应用于

各种准二维钙钛矿体系,有助于生产新材料,从而扩大下一代显示器的色域。

Table 1. Characteristics of tested devices.

Synthetic technique ^{a)}	λ_{EL} [nm] ^{b)}	FWHM [nm] ^{c)}	CIE [x,y] ^{b)}	Voltage [V] ^{c)}	Luminance [cd m ⁻²] ^{d)}	EQE [%] ^{e)}	Power efficiency [lm W ⁻¹] ^{f)}	Current efficiency [cd A ⁻¹] ^{g)}
Hot-casted	510	20	(0.05, 0.63)	6.75/6.00	150.0/135.2	0.10/0.12	0.11/0.15	0.25/0.29
Antisolvent-treated	498	20	(0.05, 0.50)	7.25/6.50	132.4/103.1	0.12/0.21	0.06/0.12	0.13/0.24
Evaporation-controlled	466	14	(0.15, 0.10)	8.00/7.25	240.0/200.3	0.11/0.13	0.05/0.07	0.13/0.16

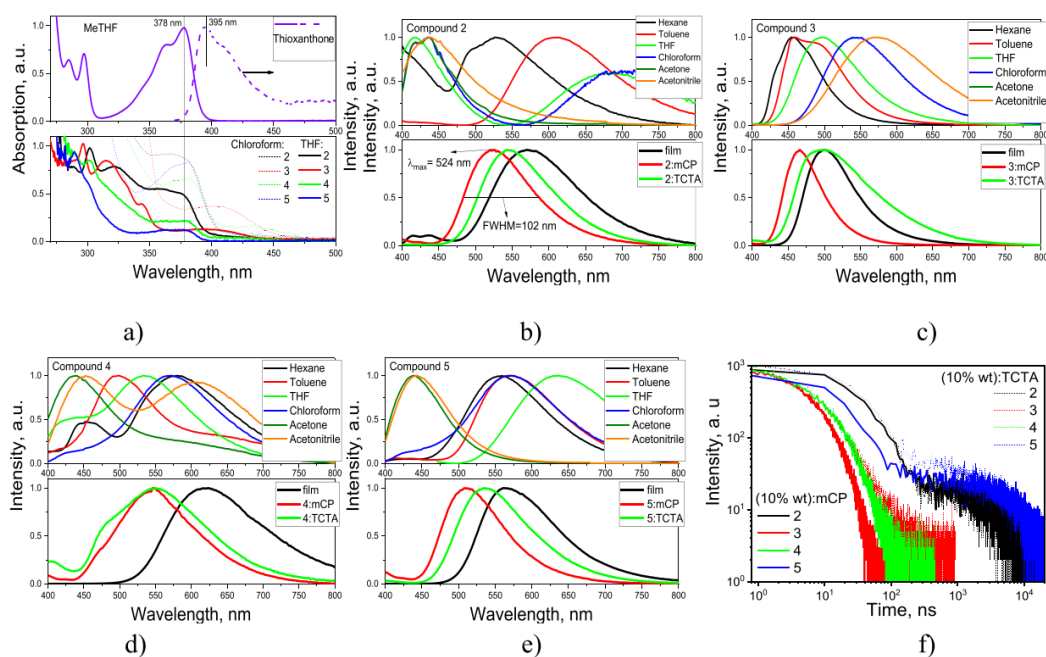
^{a)} Device configuration: ITO/PEDOT:PSS/PVK:PF1/PEA₂CsPb₂Br₇/TPBi/LiF/Al. ^{b)} The electroluminescence peak wavelength, FWHM and CIE coordinates at the driving voltage of 7.0 V. ^{c)} The driving voltage at maximum luminance and at maximum EQE. ^{d)} Maximum luminance value and value at maximum EQE. ^{e)} External quantum efficiency value at maximum luminance and maximum EQE value. ^{f)} Power efficiency value at maximum luminance and value at maximum EQE; ^{g)} Current efficiency value at maximum luminance and value at maximum EQE.

本文使用 Keithley 2400 源表测试最大亮度和最大 EQE 下的驱动电压，以此来评估电致发光器件性能

案例三：不同供电子能力的取代基对双极硫杂蒽酮衍生物光电性能的影响^[3]

本文总结了四种含有不同电子供体基团的硫杂蒽衍生物的合成和光电性质,包括苯并噻嗪、3,6-二叔丁基咔唑、3,7-二叔丁基苯并噻嗪和 2,7-二叔丁基-9,9-二甲基蒽醌。这些化合物形成玻璃态,玻璃化转变温度高达 116°C。电离势在 5.42 到 5.74 eV 之间。具有弱电子供体(咔唑、蒽醌)的化合物表现出双极性载流子传输,而其他化合物表现出空穴传输性质。具有苯并噻嗪或蒽醌供体的化合物表现出高效的热激发延迟荧光,荧光量子产率高达 50%。使用这些化合物制备的有机发光二极管可发出蓝色、天蓝色、绿色或黄色电致发光,外量子效率在 0.9%到 10.3%之间。

其中使用了 Keithley 2400 源表来确定电致发光和电流密度-电压特性。使用 Keithley 6517B 静电计向样品施加各种正和负外部电压 (U)，以检查不同电场下各层中的空穴和电子传输。Tektronix 的 TDS 3032C 示波器用于记录空穴或电子的光电流瞬态。



- [1] Yang Yang, Haiyan Pei, Zejun Ye, Jiaming Sun; Enhancement of the Electroluminescence from Amorphous Er-Doped Al₂O₃ Nanolaminate Films by Y₂O₃ Cladding Layers Using Atomic Layer Deposition; *Nanomaterials* 2023, 13, 849.
<https://doi.org/10.3390/nano13050849>
- [2] Yoonseo Nah, Devan Solanki, Yitong Dong, Jason A. Röhr, André D. Taylor, Shu Hu, Edward H. Sargent, and Dong Ha Kim; Narrowing the Phase Distribution of Quasi-2D Perovskites for Stable Deep-Blue Electroluminescence; *Adv. Sci.* 2022, 9, 2201807, [10.1002/advs.202201807](https://doi.org/10.1002/advs.202201807)
- [3] Simas Macionis, Dalius Gudeika, Dmytro Volyniuk, Malek Mahmoudi, Jurate Simokaitiene, Viktorija Andruleviciene, Murad Najafov, Rita Sadzeviciene, Sigita Stoncius, and Juozas V. Grazulevicius; Effect of Substituents with the Different Electron-Donating Abilities on Optoelectronic Properties of Bipolar Thioxanthone Derivatives; *ACS Appl. Electron. Mater.* 2023, 5, 2227–2238. <https://doi.org/10.1021/acsaelm.3c00092>