

FS5 在新型 InP 量子点材料中的应用

前言

半导体量子点(QDs)具有独特的可调光致发光特性, 可用于固态照明显示、光电和生物医学成像等重要技术领域。磷化铟(InP)量子点作为一种环境友好、无毒的替代物, 已经引起了广泛的研究兴趣。

完全由 InP 组成的量子点由于在 InP 表面的阱态发生非辐射重组而无发射。为了获得发射的量子点, 在 InP 芯上涂覆一层高禁带半导体, 如硫化锌(ZnS), 形成核壳异质结构, 使阱态大大钝化, 增加光致发光量子产率(图 1)。为了进一步提高 InP/Zns 量子点的亮度、稳定性和颜色范围, 需要建立组成和光致发光性质之间的关系。在文中, 使用 FS5 荧光光谱仪对新型 InP/ZnS 量子点进行了稳态和时间分辨的测试。

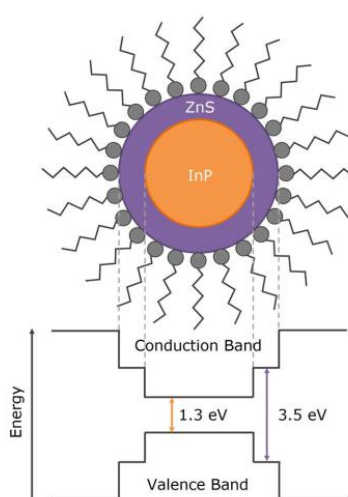


图 1. InP/ZnS 量子点的核-壳结构和能带能图。

测试方法与样品

制备了 InP/ZnS QDs 甲苯溶液, 在 500 nm 处吸光度为 0.15。测试仪器为爱丁堡一体化荧光光谱仪 FS5, 能够进行吸收光谱及光致发光光谱的测试。配置 SC-05 标准液体支架以及皮秒脉冲激光器 EPL-405, TCSPC 模块以及 PMT-980 检测器。



图 2. FS5 稳态瞬态荧光光谱仪配置 EPL 激光器

结果与讨论

使用 FS5 对样品进行吸收光谱和发射光谱的测试，如图 3 所示。FS5 标配标吸收检测器，可以在同一台仪器中进行吸收和发射的测试。结果显示 InP/Zns 量子点在 620nm 处有明显的带边发光峰，半高宽为 65nm。除了基带边缘峰外，还有一条宽低能峰入近红外区。FS5 配置了扩展范围的光电倍增管探测器（PMT-980），其高灵敏度可至 950nm。PMT-980 的探测范围比标准 PMT-900 扩展了 80nm，是长带尾发射材料的理想选择。在 InP/Zns 量子点中观察到宽低能带，这表明其陷阱发射¹。

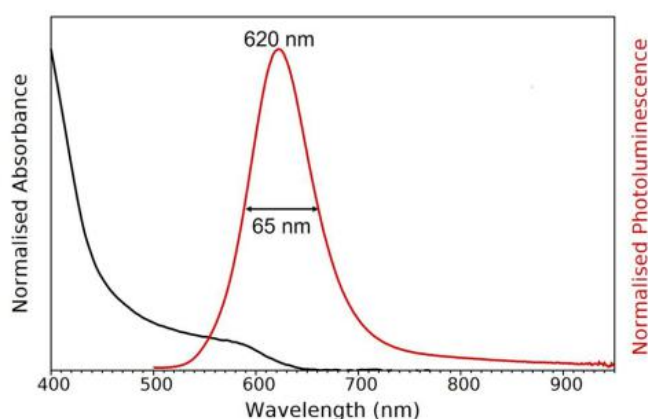


图 3. InP/ZnS 量子点的吸收光谱(黑色)和光致发光光谱(红色)溶液。吸收测试参数: $\Delta\lambda_{\text{ex}} = 2\text{nm}$ 。发射测试参数: $\lambda_{\text{ex}} = 400\text{ nm}$, $\Delta\lambda_{\text{ex}} = 8\text{nm}$, $\Delta\lambda_{\text{em}} = 3\text{ nm}$ 。

为了进一步确定陷阱的存在，利用 FS5 的 TCSPC 功能测量了样品光致发光寿命；由于阱发射和带边发射在不同的时间尺度上发生。使用皮秒脉冲二极管激光器(EPL-405)作为激发光源，建立时间分辨的发射光谱(TRES)，如图 4 所示。TRES 图清楚地表明，在较长的发射波长下，光致发光寿命显著增加。

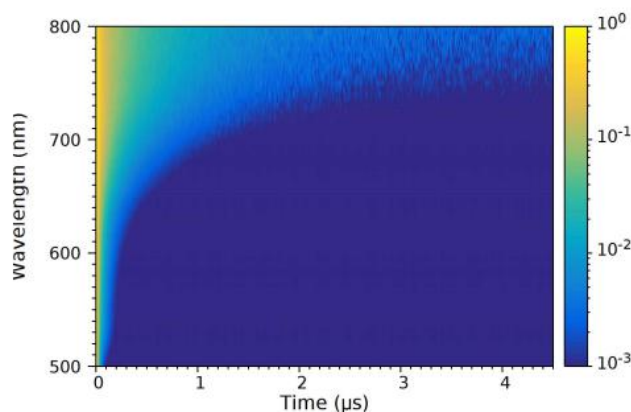


图 4. 使用 TCSPC 技术测试 InP/ZnS 量子点溶液的时间分辨发射光谱（TRES），荧光强度在每个波长下进行了归一化。测试参数： $\lambda_{ex} = 405 \text{ nm}$, $\Delta\lambda_{em} = 15 \text{ nm}$ 。

为了确定光致发光寿命，用更高的时间分辨率测试了带边发射峰（620 nm）和尾发射峰（775 nm）的衰减曲线，使用 FSS 的 Fluoracle 软件（图 5）进行拟合符合四指数衰减。结果表明，带边发射峰的平均发光寿命为 31.2ns，而尾发射峰的平均发光寿命为 348ns。

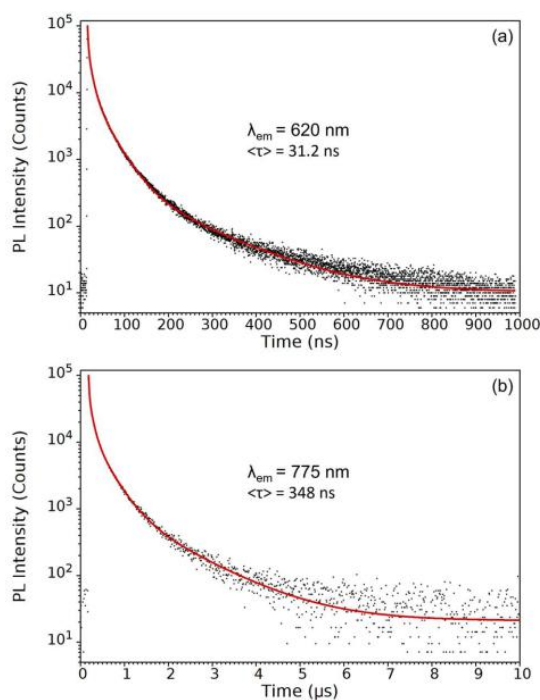


图 5. 使用 TCSPC 技术在 620nm (a) 和 775nm (b) 处测试的衰减曲线。拟合结果符合 4 指数衰减，计算强度加权平均寿命。实验参数： $\lambda_{\text{ex}}=405\text{nm}$ ， $\lambda_{\text{em}}=620\text{nm}/775\text{nm}$ ， $\Delta\lambda_{\text{em}}=10\text{nm}$ 。

尾端衰减具有长数量级的寿命进一步的证明，由在 InP/Zns 量子点中的俘获引起的。图 6 显示了一种势能机制，导电带边缘的电子被捕获在带隙内具有能量的 InP 核表面缺陷处。这些被捕获的电子然后缓慢地与价带中的空穴重新结合，发射出比带边发射更长波长的光。陷阱的存在表明 ZnS 壳层可能是不完整的，因此 InP 没有完全钝化，合成过程应该调整以沉积更厚的 ZnS 壳层。

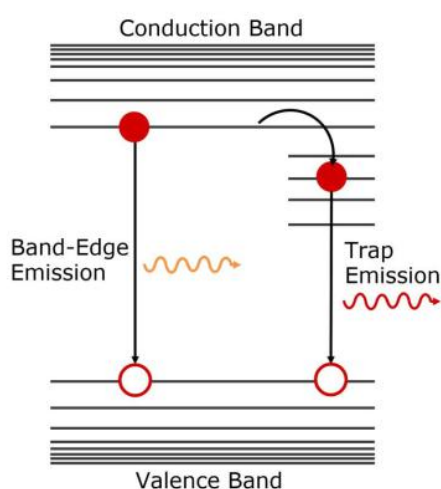


图 6. 在量子点中带边发射和阱发射的示意图。

结论

利用 FS5 荧光光谱仪对 InP/ZnS 量子点的光物理进行了稳态和时间分辨研究，发现了由于 ZnS 可能脱壳不完全阱发射的存在。本文突出展现了 FS5 紧凑型荧光光谱仪在表征新型量子点发射体的吸光度、发射和寿命的能力，并有助于建立结构-性能关系。

参考文献

[1] R. Toufanian, A. Piryatinski, A. H. Mahler, R. Iyer, J. A. Hollingsworth & Allison M. Dennis, Bandgap Engineering of Indium Phosphide-Based Core/Shell Heterostructures Through.