

弱电子传输材料实现 100% 内量子效率的有机蓝色磷光

光电子学

肖立新¹ 苏仕健² 阿形祐也² 蓝杏林² 城户淳二²

(¹北京大学物理系人工微结构和介观物理国家重点实验室, 北京 100871; ²日本山形大学大学院理工学研究科有机器件工学专业)

通常有机材料被认为是绝缘体, 但是随着科学的进步, 科学家们不但发明了可以导电的有机材料, 还发现某些有机材料通电可以发光。自从 20 年前开发出薄膜有机电致发光二极管 (OLED) 以来, 这方面的研究已经取得惊人的进步。但是通常采用的荧光材料 (单线态发光) 的内量子效率理论上只有 25%, 由于不同折射率物质对光传播的影响, 最后只有 20% 的光能够发射出来, 也就是只有 5% 的外量子效率。如果采用磷光材料 (三线态发光), 原来不发光的三线态也能发光, 故理论上可以得到 100% 的内量子效率发光。OLED 的量子效率是由发光材料的发光效率和电荷传输效率决定的, 实验上证实蓝色磷光的光致发光效率已经可以达到 100%, 但是因为蓝色属于宽带发光, 其导电能力将大大降低, 故蓝色电致磷光很难实现高效发光。蓝色不但是三原色之一, 而且还可以通过色变换方式得到长波长的绿色、红色发光, 故开发高效蓝光对于磷光器件的产业化非常重要。由于有机材料本身的传导电子的能力不及传导空穴的能力, 故电荷传输效率较低。

基于常理, 对于蓝色磷光器件需要开发具有高电子传输性能及高三线态能级的宽带材料。但是高三线态能级的宽带材料与高电子传输性能通常是两难命题。于是我们通过设计一种高三线态能级的宽带含硅材料 DPPS (能隙达到 4.0 eV, 宽于一般的半导体材料), 由于其 π 共轭结构中插入硅原子, 故其 π 共轭性被打断, 从而呈现很宽的能隙。其 HOMO 能级为 6.5 eV, 期望能够很好地阻挡空穴传输, 而且

由于吡啶环的导入, 可以适当增加其电子传输性能, 虽然其电子传输性能还不如普通的电子传输材料, 比如三唑衍生物 TAZ, 属于弱电子传输材料。同时低温磷光测得 DPPS 的三线态能级为 2.7 eV, 大约与 TAZ 及蓝色磷光发光体 Firpic 的相当, 故三线态激子可望同样被它们阻挡。

为了研究 DPPS 作为电子传输材料在蓝色磷光器件中的应用, 我们采用与多层的磷光器件结构相匹配的传输材料, 器件结构如图 1 所示。采用同样的器件结构, 我们发现 DPPS 的电流密度低于同等条件下的 TAZ (见图 2), 这说明 DPPS 的电子传输能力低于 TAZ, 并进一步通过只有电子的器件结果证实了这一点。

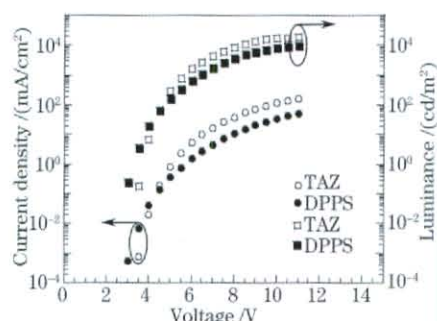


图 2 器件的电流密度及亮度与电压的关系曲线。ITO/TPDPES:TBPAH 20 nm/BCBP:15% Firpic 30 nm/TAZ 30 nm (○与 □) 或 DPPS 30 nm (●与 ■)/LiF/Al

弱电子传输材料 DPPS 器件的最高外量子效率达到 22.0%, 而采用 TAZ 的器件只有 15.3%^[1]。说明采用弱电子传输的宽带材料, 由于其能够很好地阻挡空穴传输, 使得器件中的电荷传输能够很好达到平衡, 结果出人意料地实现了近 100% 的内量子效率, 给高效蓝色磷光器件的设计提供了新的思路。

项目基金: 国家自然科学基金 (60677002, 10821062) 与 973 (2007CB307000, 2009CB930504) 及日本 NEDO 资助课题。

通信作者: 肖立新, E-mail: xiao66@pku.edu.cn

参考文献

1 Lixin Xiao et al. *Adv. Mater.* 2009, **21**(12): 1271~1274

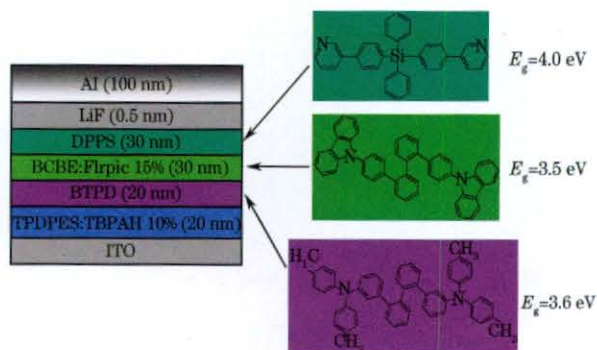


图 1 蓝色磷光器件的结构及其使用材料的化学结构式