

文章编号:1007-2780(2011)05-0616-04

基于 DSA-ph 的高效蓝色有机电致发光器件

姜文龙¹, 赵 雷¹, 张 刚¹, 刘铁功¹, 王艳玲¹, 段 羽²

(1. 吉林师范大学 信息技术学院, 吉林 四平 136000, E-mail: jiang_wl@163.com;

2. 吉林大学 电子科学与工程学院, 吉林 长春 130012)

摘 要: 以 NPBX 掺杂 3% 的 DSA-ph 作为发光层, BCP 或 TAZ 作为空穴阻挡层, Alq₃ 或 Bphen 作为电子传输层制作了一组蓝色有机电致发光器件。通过调整不同的空穴阻挡层与电子传输层之间的组合, 得到了一组高效的蓝光 OLED。测试结果表明, 当空穴阻挡层为 TAZ, 电子传输层为 Bphen 时, 器件的性能最优。当驱动电压为 5 V 时, 器件最大电流效率为 4.59 cd/A。在 12 V 时亮度最大, 为 6 087 cd/m²。

关 键 词: 蓝色有机电致发光器件; 电子传输; 空穴阻挡; 效率

中图分类号: TN383

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20112605.0616

High Efficient Blue Organic Light-Emitting Diodes Based on DSA-ph

JIANG Wen-long¹, ZHAO Lei¹, ZHANG Gang¹,

LIU Tie-gong¹, WANG Yan-ling¹, Duan Yu²

(1. College of Information Technology, Jilin Normal University, Siping 136000, China, E-mail: jiang_wl@163.com;

2. College of Electronic Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: Using NPBX with 3% DSA-ph doped as the emitting layer, BCP or TAZ as a hole blocking layer, Alq₃ or Bphen as an electron transport layer, a set of blue light-emitting devices were fabricated. A group of high efficient blue OLEDs were got by adjusting the combination between the different hole blocking layer and the electron transport layer. The result shows that when the hole blocking layer is TAZ and the electron transport layer is Bphen, the performance of the device is the best. It has a maximum current efficiency of 4.59 cd/A at 5 V and maximum brightness of 6 087 cd/m² at 12 V.

Key words: organic light-emitting diodes; electron transporting; hole blocking; efficiency

1 引 言

有机电致发光器件由于在平板显示领域的潜在应用价值而获得广泛关注^[1-4]。在其研究过程中, 如何提高器件的发光效率成为了业界关注的热点。Yamada 等人^[5]证实, 由于两种载流子的注入及传输能力不同, 传输快的一方就会直接穿过发光层到达对电极被猝灭, 降低了载流子的复

合几率, 影响器件的发光效率。目前, 提高发光效率的主要方法有: (1) 提高电子和空穴的有效注入及在有机层中的传输^[6]; (2) 均衡电子和空穴的注入, 以保证电性相反的载流子的有效复合^[7]; (3) 电极/有机层界面及有机层之间的界面修饰^[8-9]; (4) 激子形成后向发光体进行有效的能量传输^[10]; (5) 提高发光体的荧光量子效率^[11]。而目前解决载流子的有效复合问题时大都强调提高载流子的注入

收稿日期: 2011-05-23; 修订日期: 2011-06-10

基金项目: 吉林省科技发展计划项目 (No. 20080528, No. 20082112, No. 20100510, No. 20101512); 吉林省教育厅科研计划项目 (吉教科合字[2007]第 154 号)

作者简介: 姜文龙(1963—), 男, 吉林公主岭人, 博士, 教授, 主要从事有机电致发光器件方面的研究。

和传输能力,相对忽视了调控载流子平衡的重要性。因此,如何有效地提高电子的注入、传输能力,进而在激子复合过程中进一步满足电子(空穴)的复合平衡需求成为了解决问题的关键。

在以往的研究工作中 Alq_3 (HOMO 能级: -5.8 eV ; LUMO 能级: -3.1 eV) 作为一种性能相对稳定的电子传输材料一直被广泛用于器件的制备中。最近有文献报道,通过使用具有良好电子传输/空穴阻挡性能的新型材料 Bphen (HOMO 能级: -6.45 eV ; LUMO 能级: -3.0 eV) 可大大提高器件的性能^[12]。而在载流子复合过程中,有效载流子的俘获数量是发光激子复合数量多少的关键。因此,一方面,我们要通过优良电子传输材料提高电子在发光区域的有效数量;另一方面,如何将多余空穴载流子阻挡在发光区之内成为了解决载流子复合平衡的又一个至关重要的因素。常见的空穴阻挡材料 BCP (HOMO 能级: -6.5 eV ; LUMO 能级: -3.2 eV) 一直被业界广泛使用,而具有良好电子传输/空穴阻挡性能的新型空穴材料 TAZ (HOMO 能级: -6.6 eV ; LUMO 能级: -2.6 eV) 在能级结构上较 BCP 更具电子传输/空穴阻挡能力。因此,本文基于能带理论构造了一组以 BCP 或 TAZ 作为空穴阻挡层、 Alq_3 或 Bphen 作为电子传输层的高效率的有机电致蓝光器件。

2 实 验

实验中使用的有机材料的分子结构如图 1 所示,其中 2T-NATA 作为空穴缓冲层, NPBX 作

为 空 穴 传 输 层 和 激 子 阻 挡 层, NPBX 掺 杂 3% 的 DSA-ph 作为发光层, TAZ 或 BCP 作空穴阻挡层, Alq_3 或 Bphen 作电子传输层, LiF 作为缓冲层, Al 作为阴极。实验中将 ITO 玻璃衬底用清洁剂、丙酮、乙醇、去离子水反复擦洗、超声,然后放到恒温箱中干燥。器件的制备在多源有机分子气相沉积系统中进行。将所用材料分别放在不同的蒸发源(石英坩埚)中,每个蒸发源的温度可以单独控制。按设计的结构生长不同的有机材料层。在生长的过程中,系统的真空度维持在 $4 \times 10^{-4}\text{ Pa}$ 左右。器件的电致发光光谱、亮度、色度以及电流、电压特性采用美国生产的 PR655 光度计和 Keithley-2400 电流-电压源组成的测试系统进行同步测量。有机膜厚度由上海产的 FTM-V 型石英晶体膜厚仪来监测。所有的测试都是在室温大气环境中进行的。

器件结构为:

A: ITO/2T-NATA (30 nm)/NPBX (20 nm)/NPBX: DSA-ph (30 nm, 3%)/TAZ (8 nm)/ Alq_3 (40 nm)/LiF (0.6 nm)/Al;

B: ITO/2T-NATA (30 nm)/NPBX (20 nm)/NPBX: DSA-ph (30 nm, 3%)/TAZ (8 nm)/Bphen (40 nm)/LiF (0.6 nm)/Al;

C: ITO/2T-NATA (30 nm)/NPBX (20 nm)/NPBX: DSA-ph (30 nm, 3%)/BCP (8 nm)/ Alq_3 (40 nm)/LiF (0.6 nm)/Al;

D: ITO/2T-NATA (30 nm)/NPBX (20 nm)/NPBX: DSA-ph (30 nm, 3%)/BCP (8 nm)/Bphen (40 nm)/LiF (0.6 nm)/Al。

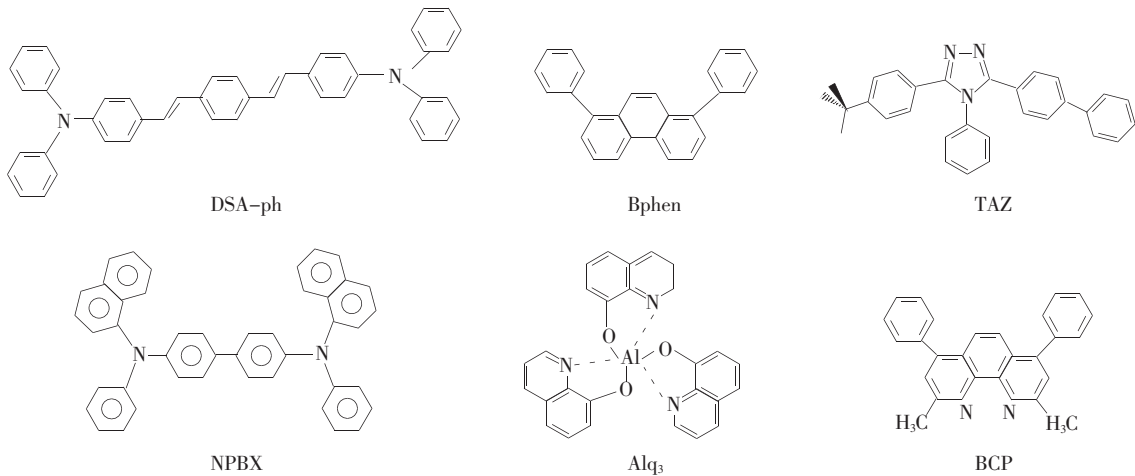


图 1 使用的有机材料结构式

Fig. 1 Chemical structure of the organic materials used

3 结果与讨论

器件的电流-电压特性曲线如图 2 所示。在相同的电压下,器件 A、B 的电流密度要低于器件 C、D 的电流密度。这是因为器件 A、B 采用了空穴阻挡性能良好的材料 TAZ 作为空穴阻挡层,与空穴阻挡材料 BCP 相比,在空穴阻挡能力方面 TAZ 表现出了更良好的性能,减少了器件漏电流的产生。另一方面,从曲线的总体变化趋势上看,给定电压在超过 10 V 以后,器件 C 的电流密度明显较器件 A、B、D 增加迅速,说明此时在器件 C 中形成的漏电流明显多于 A、B、D 的 3 个器件。这是由于器件 C 采用 Alq₃ 作为电子传输层,与采用 Bphen 的 B、D 器件相比,器件 C 未能有效地将足够的电子传输到发光区域与相应的空穴进行复合,形成发光激子,闲置了更多的空穴,使漏电流增大。与此同时,与使用 Alq₃ 作为电子传输层、TAZ 作为空穴阻挡层的器件 A 相比,器件 C 仍然形成了较明显的漏电流,说明 TAZ 作为空穴阻挡层具有良好的性能。

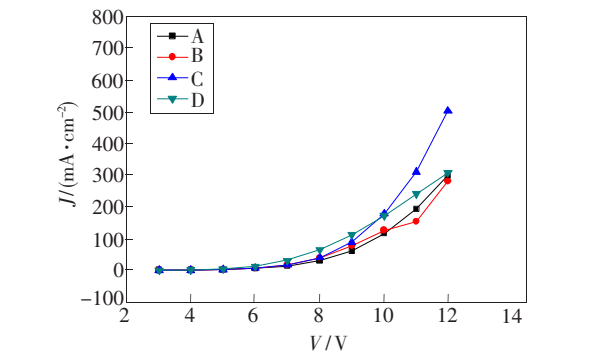


图 2 器件 A~D 的电流密度-电压(J - V)特性曲线
Fig. 2 Current intensity-voltage characteristics of devices A~D

器件 A~D 的亮度-电压特性曲线如图 3 所示。由图 3 可以看出,当电压高于器件的开启电压(5 V)时,器件的亮度随电压的升高而快速增加。器件 B、D 的亮度明显高于 A、C 的亮度,这是由于 Bphen 比 Alq₃ 具有更为优良的电子传输性能,因此,在发光区域电子数量有明显的提高,满足了空穴(电子)在发光区域复合平衡的需求,提高了发光激子结合的几率,使产生发光辐射的载流子数量有了明显的增加,进而提高了器件的亮度。器件的效率-电压特性曲线图 4 所示,器件

B、D 的发光效率明显高于器件 A、C,这主要是由于 Bphen 的电子传输性能要优于 Alq₃ 的电子传输性能,使发光区复合的激子增多,效率提高。无论是使用 Alq₃ 作为电子传输层的器件 A、C,还是使用 Bphen 作为电子传输层的器件 B、D,在经过比较后可以明显看出,器件 A 的效率高于器件 C 的发光效率,器件 B 高于器件 D 的发光效率。因此,TAZ 比 BCP 的空穴阻挡能力更强,更能提高载流子在发光区域的复合几率,提高器件的发光效率。

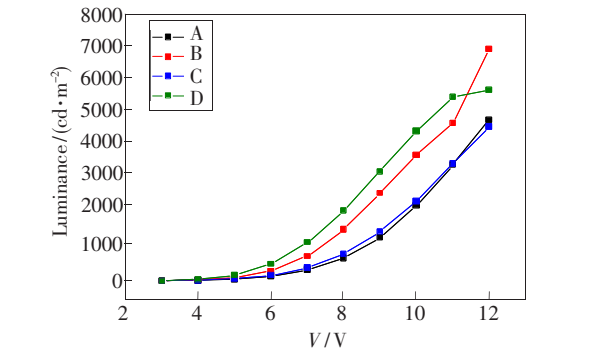


图 3 器件 A~D 的亮度-电压(B - V)特性曲线
Fig. 3 Luminance-voltage characteristics of devices A~D

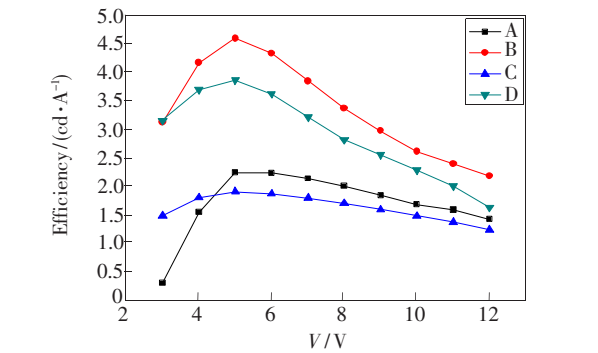


图 4 器件 A~D 的效率-电压(η - V)特性曲线
Fig. 4 Current efficiency-voltage characteristics of devices A~D

器件 A~D 的发光性能比较如表 1 所示。在给定电压为 12 V 时,由 Bphen 作为电子传输层的器件 B、D 的最大亮度高于由 Alq₃ 作为电子传输层的器件 A、C;在给定电压为 5 V 时,由 TAZ 作为空穴阻挡层的器件 B 的发光效率最大。这是因为 Bphen 作为电子传输层与 TAZ 作为空穴阻挡层时,在发光层 DSA-ph 内电子和空穴的复合几率最大,所以效率最大。将 TAZ 置于 DSA-ph 和 Bphen 之间,因为 TAZ 具有较高的 HOMO 能级(-6.6 eV),使空穴很好地被限制在 DSA-ph

层内,提高了 DSA-ph 的发光效率。同时因为于此器件结构的其他材料,因此,整个发光区域被 DSA-ph 具有较窄带隙优势(带隙为 2.7 eV),牢牢地限制在发光区域层之内。

表 1 器件 A~D 的发光性能

Table 1 Characteristics of devices A~D

器 件	最大亮度/(cd · m ⁻²) @12 V	最大发光效率/(cd · A ⁻¹)@5 V	最大发光效率下的 CIE 色坐标
A	4 224	2.24	(0.18,0.33)
B	6 087	4.59	(0.18,0.33)
C	4 045	1.90	(0.19,0.34)
D	5 020	3.86	(0.20,0.35)

4 结 论

制作了以 NBPX 掺杂 3%的 DSA-ph 作为发光层、BCP 或 TAZ 作为空穴阻挡层、Alq₃ 或 Bphen 作为电子传输层的高效率的蓝色有机电致发光器件。由 Bphen 作为电子传输层、TAZ 作为空穴阻挡层的器件 B 是一个性能较好的蓝光器件,

在电压为 5 V 时效率最大,为 4.59 cd/A,并且效率曲线随电压变化比较平缓;12 V 时亮度最大,为 6 087 cd/m²;器件的电压从 3 V 变化到12 V 时,色坐标在(0.20,0.34)至(0.17,0.30)之间,均在蓝光区域。可见,基于此结构的有机电致蓝光器件在白光器件的应用领域中具有潜在的研究价值。

参 考 文 献:

[1] Service R F. Organic LEDs look forward to a bright,white future [J]. *Science*, 2005, 310(5755):1762-1763.

[2] Adachi C, Baldo M A, Thompson M E, *et al.* Nearly 100% internal phosphorescence efficiency in an organic light-emitting device [J]. *J. Appl. Phys.*, 2001, 90(10):5048-5051.

[3] 侯林海,王平,王标,等. 高效叠层有机电致发光器件 [J]. *液晶与显示*, 2011, 26(2):142-146.

[4] 蒋谦, 张方辉. 2,5,8,11-Tetra-Tertbutylperylene 作为辅助掺杂剂的红色有机电致发光二极管 [J]. *液晶与显示*, 2010, 25(5):666-671.

[5] Yamada T, Rohlfing F, Tsutsui T. Distribution of average electricfield in tris- (8-hydroxyquinoline)aluminum and 4,4'- bis[N-(1-naphthyl) -N- pheny lamino-biphenyl-based double-layer light-emitting diodes [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2000, 39(3A):1382-1386.

[6] Meng Yanlong, Xie Wenfa, Zhang Ning, *et al.* Effective hole-injection layer for non-doped inverted top-emitting organic light-emitting devices [J]. *Microelectronics Journal*, 2008, 39(5):723-726.

[7] Tsai C H, Liao C H, Lee M T, *et al.* Highly stable organic light-emitting devices with a uniformly mixed hole transport layer [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, 87(24):243505(1-3).

[8] Wu C I, Lin C T, Chen Y H, *et al.* Electronic structures and electron-injection mechanisms of cesium-carbonate-incorporated cathode structures for organic light-emitting devices [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006, 88(15):152104(1-3).

[9] GAO Zhixiang, HAO Yuying, LEI Junfeng, *et al.* New insert layer structure OLEDs [J]. *Optoelectronics Letters*, 2008, 4(3):209-212.

[10] Liu T H, Lou C Y, Chen C H. Doped red organic electroluminescent devices based on a cohost emitter system [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, 83(25):5241-5243.

[11] You H, Ma D G. Efficient white organic light-emitting diodes using europium complex as the red unit[J]. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2008, 41(15):155113(1-6).

[12] 辛琦,李文连,李天乐,等. 用 BPhen 作基质的铕配合物 OLED 发光机制研究 [J]. *光电子·激光*, 2008, 19(1): 10-13.