

使用AlQ的高效率红色有机电致发光器件

李璐^{1,2}, 于军胜^{1,2}, 季兴桥¹, 黎威志^{1,2}, 王涛^{1,2}

(1. 电子科技大学光电信息学院 成都 610054; 2. 电子科技大学电子薄膜与集成器件国家重点实验室 成都 610054)

【摘要】以8-羟基喹林铝(AlQ)为主体材料,通过4(Dicyanomethylen)-2-methyl-6-(P-dimethylaminostyryl)-4H-pyran(DCM)红色发光材料的掺杂,制备了AlQ:Rubrene:DCM体系的高效率、高亮度的红色电致发光器件。器件结构为ITO/N,N'-Di-[(1-naphthalenyl)-N,N'-diphenyl]-[1,1'-biphenyl]-4,4'-diamine(NPB)/AlQ:Rubrene(3%):DCM(3%)/AlQ/Mg:Ag/Al,亮度为4 330 cd/m²,色坐标为(0.51, 0.44),最大流明效率为6.77 lm/W。

关键词 AlQ; 掺杂; 流明效率; 有机电致发光; 红色发光
中图分类号 TN383⁺¹ **文献标识码** A

High Efficiency Red Organic Light-Emitting Diodes Using Tris-(8-Hydroxyquinoline) Aluminum

LI Lu^{1,2}, YU Jun-sheng^{1,2}, JI Xin-qiao¹, LI Wei-zhi^{1,2}, and WANG Tao^{1,2}

(1. School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054;

2. State Key Laboratory of Electronic Thin Films and Integrated Devices, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract High efficiency red organic light-emitting diodes (OLEDs) using tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum (AlQ) as host material fabricated via a thermal vacuum deposition process were investigated. Red organic EL devices with the structure of ITO/NPB/AlQ:Rubence(3%):DCM(3%)/AlQ/Mg:Ag/Al with a CIE coordinates of (0.45, 0.50), a maximum luminance of 4 330 cd/m², and a maximum luminance efficiency of 6.77 lm/W have been achieved.

Key words AlQ; doping; luminance efficiency; organic light-emitting diodes; red light emission

自从美国柯达公司在1987年报道了在有机小分子半导体纳米薄膜有机电致发光研究上的突破性进展以来,基于有机电致发光二极管(OLED)的平板显示技术获得了突飞猛进的发展^[1-3]。作为21世纪平板信息显示器领域的有力竞争者,OLED以其视角宽、响应速度快、功耗低、结构简单、驱动电压低等诸多优点而受到产业界的广泛关注和研究^[4-6],因此其产业化的步伐也越来越快。尽管如此,对于有机电致发光的基本原理和过程,如载流子的输运、复合、能量传递及辐射衰减过程等仍然存在诸多疑问和争议,还需要作深入细致的研究和探讨;同时,通过对已知光电性能优良的发光材料的工艺优化,以提高发光器件的效率,也期望能够实现器件发光颜色的多样化。本文在保持发光性掺杂材料浓度不变的情况下,通过改变主体材料对辅助性掺杂材料的浓度百分比,探讨了其对器件的发光性能的影响。

1 实验

实验所用ITO玻璃基片购于深圳南玻公司,方阻为15 Ω/□,ITO基片分别经洗涤剂、乙醇、丙酮、去离子水超声清洗15 min,各步骤之间用大量去离子水冲洗,最后用高纯氮气吹干。将清洗干净的基片移入OLED-V型真空成膜设备预处理室进行氧等离子处理,以进一步清除表面污渍,提高ITO表面的氧含量,达到增加功函数的目的^[7-8],然后连续地依次蒸镀有机材料和金属电极。蒸镀有机材料和金属电极材料的真空度分别为 2.1×10^{-4} Pa和 3.8×10^{-3} Pa,蒸镀速率分别为0.2~0.5 nm/s和1.1~1.3 nm/s。器件的有效发光面积控制为5 mm×5 mm。

经过以上步骤,制备了如下所示结构的器件(括号里为膜层厚度,单位为0.1 nm):

A: ITO/NPB(400)/AlQ:DCM(2%)(500)/AlQ(100)/Mg:Ag(100)/Ag(1 000)。

收稿日期: 2007-01-31; 修回日期: 2007-05-10

基金项目: 部级预研基金

作者简介: 李璐(1982-),男,博士生,主要从事有机电致发光器件方面的研究。

B: ITO/NPB(400)/AIQ:Rubrene(10%):DCM (2%)(500)/AIQ(100)/Mg:Ag (100)/Al (1 000)。

C: ITO/NPB(400)/AIQ:Rubrene(8%):DCM (2%)(500)/AIQ(100)/Mg:Ag (100)/Al (1 000)。

D: ITO/NPB(400)/AIQ:Rubrene(1%):DCM(2%) (500)/AIQ(100)/Mg:Ag(100)/Al (1 000)。

E: ITO/NPB(400)/AIQ:Rubrene(3%):DCM(2%) (500)/ AIQ (100)/Mg:Ag (100)/Al (1 000)。

NPB为空穴传输材料,靠近金属阴极AIQ层为电子传输材料,覆盖在阴极外面的Al,是为了防止在空气中测量时电极中Mg的氧化。在空气气氛和室温条件下,对以上未封装器件利用Keithley-4200和ST-86LA测试其电流密度-电压($J-V$),亮度-电压($L-V$)曲线特性,采用OPT-2000型光谱光度计表征器件电致发光(EL)光谱。所用有机材料NPB、AIQ、DCM、Rubrene均购于Sigma-Aldrich公司,器件结构示意图及所用材料分子式如图1所示。

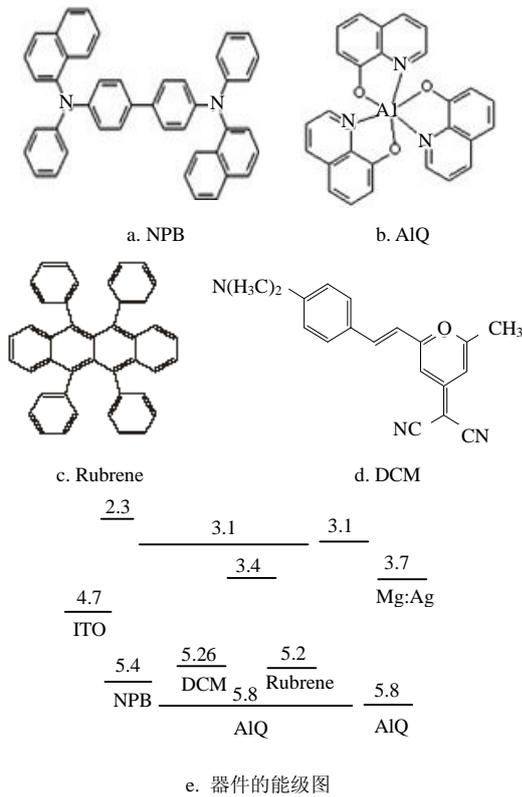


图1 有机材料的化学结构式

2 结果与讨论

图2为5种器件的 $J-V$ 曲线,从图中可以看出,器件E电流密度最大,器件C电流密度最小。从图3的器件的亮度-电压曲线可以看出,器件C、D、E启亮电压均为3 V,器件B启亮电压为2.5 V,器件A的启

亮电压为3.5 V(启亮电压是亮度达到1 cd/m^2 时的器件电压)。外加电压11 V时,5种器件的最大亮度分别为2 130、241、1 050、568、2 910 cd/m^2 ,显然,器件E亮度性能最好。在高电场强度下,所有器件均表现出电流密度与电压的二极管特性-指数关系^[9],而亮度与电压的二极管特性,尤其对器件B和D而言,不十分明显。

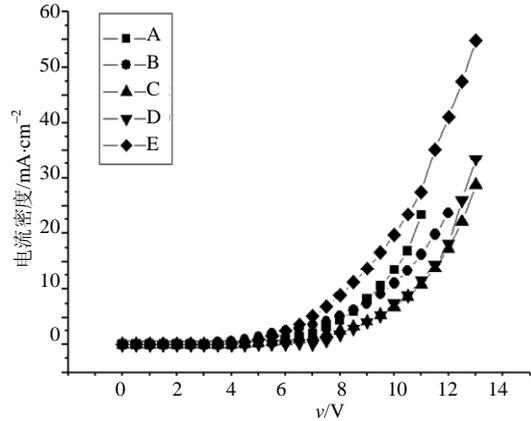


图2 器件A、B、C、D和E的 $J-V$ 曲线

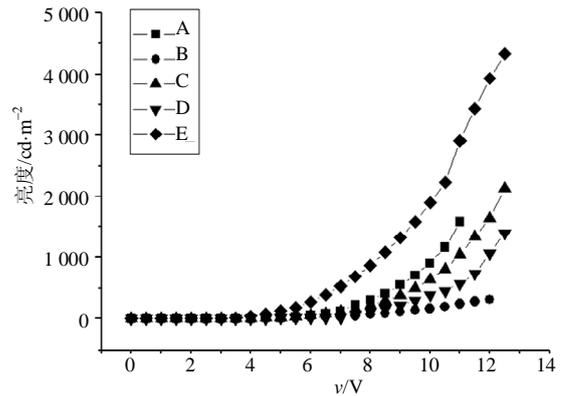


图3 器件A、B、C、D和E的 $L-V$ 曲线

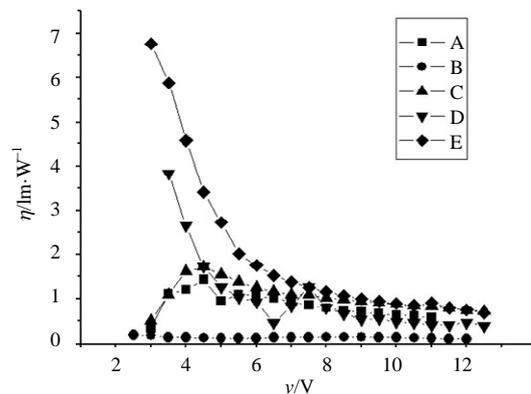


图4 器件A、B、C、D和E的 $\eta-V$ 曲线

图4为器件的发光效率和电压关系曲线,从图中可以看出,在5 V以下A和C两种器件的流明效率随着电压的增加而增加,在5 V以上,发光效率就随着

电压的增加而降低。对于器件D和E, 发光效率随着电压的升高而逐渐降低。另外, 器件E效率明显要高于其他掺杂器件, 最高发光效率达到6.77 lm/W。

另外一点需要说明的是, 器件D随电压的变化并不太稳定, 在某些电压时有突然的上升, 与它们形成对比的是另外几种器件的效率变化很平稳。这也反映了该种器件发光性能的不稳定性。

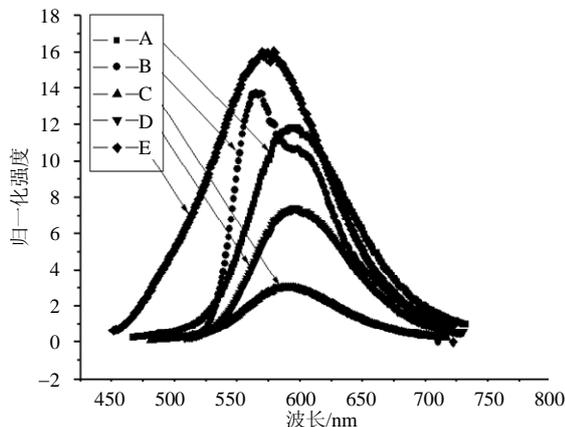


图5 器件A、B、C、D和E的EL光谱

图5为器件的典型发光光谱, 从中可以看出, 5种器件的峰值波长分别为(A)598 nm、(B)565 nm、(C)588 nm、(D)595 nm和(E)579 nm; 从图中还可以看到, 器件A的EL谱峰位置明显比其他掺杂器件的要高, 这说明掺杂器件的发射光谱的色纯度有了很大改变; 引起5种掺杂DCM器件的谱峰位置变化的原因是, 由于器件的构造和组成的不同, 主体材料AIQ通过Rubrene辅助性掺杂材料向发光性DCM掺杂材料的能量转移的程度也不相同, 会导致辅助性掺杂材料Rubrene的发光(B)^[10]。由表1可见, 器件A的红光的色纯度最好。

表1 5种器件的光电性能比较

器件	最大流明效率 /lm·W ⁻¹	发光谱峰/nm	色纯度(x,y)
A	1.44	598	(0.57, 0.43)
B	0.20	565	(0.52, 0.48)
C	1.71	588	(0.53, 0.46)
D	3.83	595	(0.56, 0.44)
E	6.77	579	(0.51, 0.44)

掺杂器件的J-V-L特性可以利用能级图(如图1所示)来解释。对于电流密度最小的器件C, 由于能级差较大势垒较高, 所以进入的载流子较少, 导致电流密度较低。对于亮度最大的器件E, 由于能级差值较接近, 所以大量的空穴与电子相复合导致发光, 适当的浓度掺杂会使能量传递更有效, 发生猝灭的

载流子更少, 所以其发光亮度最高。由于器件E亮度最高而电流密度较低, 所以流明效率最大。由对比可以看出, 当不掺杂Rubrene时色纯度会更高, 但掺杂Rubrene时器件亮度更高^[11]。

3 结论

本文通过材料的选择和掺杂, 得到了高效率的红色电致发光器件, 制备了AIQ:Rubrene:DCM为发光体系的红色电致发光器件。结果表明, 通过加入辅助性掺杂材料, 可以得到高发光亮度和效率的不同颜色的器件, 该结果表明了辅助性掺杂材料的适当添加对器件性能的影响, 进行了工艺上的尝试。

参考文献

- [1] TANG C W, VANSLYKE S A. Organic electroluminescent diodes[J]. Appl Phys Lett, 1987, 51(12): 913-915.
- [2] YU J, LI W, JIANG Y, et al. Bright yellow organic electroluminescent devices using a novel Silole derivative as emitter[J]. Jpn J Appl Phys, 2007, 46(2): L31-33
- [3] TANG C W, VANSLYKE S A, CHEN C H. Electroluminescence of doped organic thin films[J]. J Appl Phys, 1989, 65(9): 3610-3616
- [4] VANSLYKE S A, CHEN C H, TANG C W. Organic electroluminescence devices with improved stability[J]. Appl Phys Lett, 1996, 69(15): 2160-2162.
- [5] YU J, CHEN Z, SONE M, et al. Red light-emitting organic electroluminescent devices with bisanil dye as emitter[J]. Jpn J Appl Phys (A), 2001, 40(5A): 3201-3205
- [6] HU W P, MATSUMURA M, WANG M Z, et al. Efficient red electroluminescence from devices having multilayers of a europium complex[J]. Appl Phys Lett, 2000, 77(26): 4271-4273
- [7] KONG R C, NUGNET M R, MICHALSKI L, et al. High operational stability of electrophosphorescent devices[J]. Appl Phys Lett, 2002, 81(1): 162-164.
- [8] ISHII M, MORI T, FUJIKAWA H, et al. Improvement of organic electroluminescent device performance by in situ plasma treatment of indium-tin-oxide surface[J]. J Lumin, 2000, 87-89: 1165-1167
- [9] KIDO J, HONGAWA K, OKUYAMA K, et al. Bright blue electroluminescence from poly(N-vinylcarbazole)[J]. Appl Phys Lett, 1993, 63: 2627-2629.
- [10] KUMAR N D, JOSHI M P, FRIEND C S, et al. Organic-inorganic heterojunction light emitting diodes based on poly(p-phenylene vinylene)/cadmium sulfide thin films[J]. Appl Phys Lett, 1997, 71: 1388-1390.
- [11] MURATA K, CINA S, GREENHAM N G. Barriers to electron extraction in polymer light-emitting diodes[J]. Appl Phys Lett, 2001, 79: 1193-1195.