

基于红色荧光染料 3-(dicyanomethylene)-5 , 5- dimethyl-1-(4-dimethylamino-styryl) cyclohexene 的 高性能白色有机电致发光器件 *

文 雯¹⁾ 王 博²⁾ 李 璐¹⁾ 于军胜^{1)†} 蒋亚东¹⁾

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

2) 中国人民解放军 63916 部队 北京 100142)

(2008 年 12 月 26 日收到 2009 年 4 月 7 日收到修改稿)

研究了基于红色荧光染料 3-(dicyanomethylene)-5 , 5-dimethyl-1-(4-dimethylamino-styryl) cyclohexene(DCDDC) 的白色有机电致发光器件的性能, 分别制备了基于 DCDDC 超薄层和 DCDDC 掺杂主体材料的两种器件结构: 1) indium-oxide(ITO)/N , N'-diphenyl-N , N'-bis(1-naphthyl-phenyl)-1 , 1'-biphenyl-4 , 4'-diamine(NPB)/4 , 4'-bis(2 , 2'-diphenylvinyl)-1 , 1'-diphenyl(DPVBi)/tri(8-quinolinolato) aluminum(Alq₃)/DCDDC/Alq₃/Mg :Ag 2) ITO/NPB /Alq₃ :DCDDC/NPB/2 , 9-dimethyl-4 , 7-diphenyl-1 , 10-phenanthroline(BCP)/Mg :Ag, 测试了超薄层器件 A 和掺杂器件 B 的发光特性, 比较了两种器件的亮度、效率曲线和光谱曲线. 结果表明, 两种结构的器件均实现了红绿蓝三波段白光发射, 其中器件 A 在 4 V 启亮, 在 5.5 V 时达到最大功率效率 2.5 lm/W, 在 18.5 V 时达到最大亮度 16690 cd/m², 色坐标稳定在 (0.330 , 0.300) 附近, 在较大电压范围内仅有 (-0.020 , +0.002) 的微小变化, 器件 B 的启亮电压为 5 V, 最大功率效率和最大亮度分别为 1.4 lm/W (9.6 V) 和 12580 cd/m² (17 V), 色坐标随电压增大有明显红移, 当电压大于 9 V 后色坐标稳定在白光等能点附近. 我们发现两种器件的不同发光特性依赖于载流子复合区域的变化, 此外, DCDDC 超薄层的直接载流子俘获特性和 Alq₃ :DCDDC 体系中的不完全能量转移特性对器件性能也有一定影响.

关键词: 有机电致发光器件, 白色发光, 红色荧光染料, 掺杂

PACC: 7860F, 3250F, 3350D

1. 引 言

白色有机电致发光器件(white organic light-emitting devices, WOLEDs) 由于具有主动发光、功耗低、响应速度快、质轻、超薄等优点, 特别是能应用于全彩显示、照明光源以及液晶的背光源等领域, 在近年来引起了国内外研究团队的广泛关注并取得了长足的发展^[1-3]. 目前, 研究高效、稳定的 WOLEDs 成为新的热点. 实现 WOLEDs 主要有以下几种方法: 1) 利用红绿蓝染料分别掺杂到主体材料中形成单一发光层或多发光层以实现白光^[4]; 2) 利用红绿蓝等(三原色或互补色)基色材料作为发光层堆积在一起进

行光的叠加从而实现白光^[5,6]; 3) 利用可产生激基复合物或激基缔合物的发光材料形成宽波段发射实现白光^[7]; 4) 利用微腔结构的选模特性发射特定波段的光波组合实现白光^[8]; 5) 利用蓝色 OLED 器件所发出的蓝色激发转换材料获得长波发射进而混色形成白光^[9]; 6) 利用不同颜色的 OLED 元件串联可混合出白光^[10]. 在以上方法中, 掺杂结构的多层器件取得了令人瞩目的进展, 在 WOLEDs 的亮度、效率、色稳定性等方面都取得了重大突破. 然而, 掺杂型器件的制备工艺比较复杂, 对掺杂浓度和掺杂厚度的控制要求很高, 既增加了成本, 又不利于批量生产^[11]. 因此, 超薄层器件逐渐受到人们的重视并发展起来. 将染料作为超薄层‘掺杂’到基质材料之中,

* 国家自然科学基金(批准号: 60721001)、国家高技术研究发展计划(863)项目(批准号: 2007AA03Z424)、教育部新世纪优秀人才计划(批准号: NCET-06-0812)和电子科大中青年学术带头人计划(批准号: 060206)部分资助的课题.

† 通讯联系人, E-mail: jsyu@uestc.edu.cn

不仅解决了染料在高浓度下发生浓度猝灭的问题,而且实现了工艺的简化^[12,13]。目前,二波段白光超薄器件的结构设计和优化较为完善,但三波段白光超薄器件鲜有报道。

在本文中,我们采用一种简单的工艺制备方法,在 tris(8-quinolinolato) aluminum(Alq_3) 层中的适当位置蒸镀一层红色荧光染料 3-(dicyanomethylene)-5,5-dimethyl-1-(4-dimethylamino-styryl) cyclohexene (DCDDC) 超薄层,其中 DCDDC 作为红色发光层, Alq_3 分别作为绿色发光层和电子传输层;再采用高效率的蓝色荧光材料 4,4'-bis(2,2'-diphenylvinyl)-1,1'-diphenyl(DPVBi) 作为蓝色发光层。通过调节优化各发光层的厚度,使三原色组合协调以实现高色纯度的白光。作为比较,我们另外制备染料掺杂型器件,即将 DCDDC 以低浓度掺杂到主体材料 Alq_3 中作为红-绿发光层,并且以常规的荧光材料 N,N' -diphenyl- N,N' -bis(1-naphthyl-phenyl)-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine(NPB) 作为蓝色发光层。DCDDC 的浓度和发光层的厚度对白光色纯度和器件性能均有较大影响。测试了超薄器件和掺杂器件的发光特性,比较了两类器件的亮度、效率特性曲线并分析了原因,着重讨论了两类器件的结构特点以及载流子复合区域的分布。

2. 实 验

本实验所用的有机材料 NPB, Alq_3 , BCP 和 DPVBi 均购于 Aldrich 公司,红色荧光染料 DCDDC 由实验室合成,其最低未占有分子轨道(lowest unoccupied molecular orbital, LUMO)和最高占有分子

轨道(highest occupied molecular orbital, HOMO)的能级分别为 5.2 eV 和 3.1 eV,具体的合成路线和物理化学表征请见文献[14]。选用方阻为 $10 \Omega/\text{sq}$ 的氧化铟锡(indium-tin oxide, ITO) 导电玻璃基片做阳极,依次用洗涤剂、去离子水、丙酮、乙醇超声清洗 10 min,各步骤之间用大量去离子水冲洗,再用高纯氮气吹干,然后移入 OLED-V 型有机多功能真空成膜设备的预处理室中进行氧等离子体溅射预处理 5 min,以增加 ITO 的功函数,提高空穴注入能力^[15]。待处理后的基片冷却后,转入真空室依次蒸镀有机材料以及金属电极 Mg:Ag 合金(比例为 10:1),蒸镀的真空度控制在 10^{-7} Pa 左右;由石英晶体振荡器实时监控成膜速率和厚度,有机物和金属电极的蒸发速率分别为 0.1—0.2 nm/s 和 1 nm/s。通过优化器件的厚度和浓度,得到的超薄层器件结构为 ITO/NPB(500 Å)/DPVBi(20 Å)/ Alq_3 (100 Å)/DCDDC(0.4 Å)/ Alq_3 (300 Å)/Mg:Ag(10:1, 2000 Å),标示为器件 A。同样的,制备的掺杂层器件结构为:ITO/NPB(400 Å)/ Alq_3 :DCDDC(0.1%, 400 Å)/NPB(100 Å)/2,9-dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline(BCP)(200 Å)/Mg:Ag(10:1, 2000 Å),标示为器件 B。各器件的有效发光面积均为 $6 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ 。在大气室温环境下,采用 KEITHLEY-2400 半导体特性测试仪和 PR650 光谱扫描仪测试了以上未封装器件的电流密度-亮度-电压(Current density-Luminance-Bias voltage, $J-L-V$)特性和电致发光特性(electroluminescence, EL);采用激发波长为 365 nm 的紫外灯及 OPT-2000 型光谱光度计测试了器件的光致发光特性(photoluminescence, PL);采用紫外-可见(ultraviolet-visible, UV-vis)分光光度计 UV1700 测试了材料的吸收光谱特性。材料分

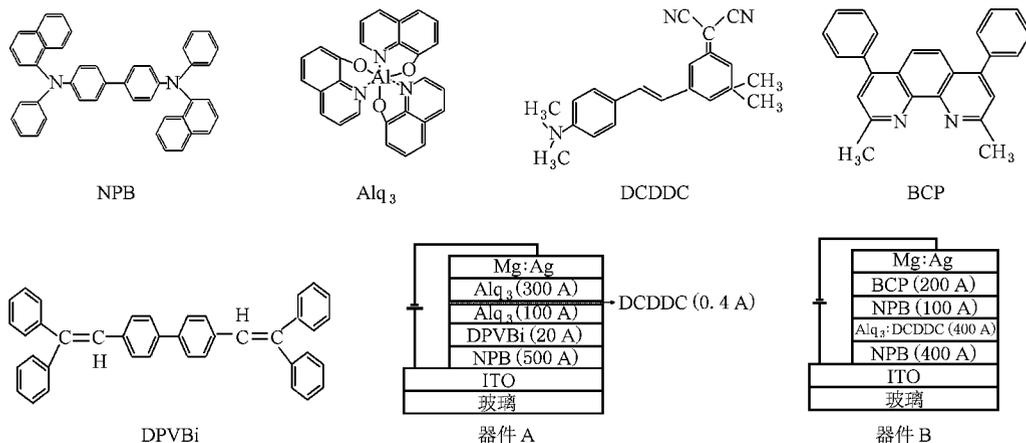


图 1 所用有机材料的化学结构式和器件的结构示意图

子结构和器件结构如图 1 所示.

3. 结果与讨论

图 2 是 DCDDC, Alq_3 薄膜和 Alq_3 :DCDDC 掺杂薄膜(掺杂浓度为 0.5 wt%) 的 PL 光谱, 以及 DCDDC 薄膜的 UV-vis 吸收光谱. 由图 2 可以看出, DCDDC 薄膜的 PL 峰值位于 670 nm, 半高谱宽(full width at half maximum, FWHM) 约为 70 nm, 红光色纯度较好. DCDDC 主要有两个吸收峰, 分别位于 325 nm 和 509 nm, 其中 509 nm 左右的吸收峰与 Alq_3 在 530 nm 左右的 PL 峰有较大的重叠. 因此可以推断, 在 Alq_3 :DCDDC 掺杂体系中, 主体材料 Alq_3 与客体材料 DCDDC 之间可能存在有效的能量转移^[16]. 而从 Alq_3 :DCDDC 掺杂薄膜的 PL 光谱中可以看出, 当 DCDDC 以适当浓度掺杂到 Alq_3 中时, 光谱主要有两个发射峰, 分别位于 530 nm 和 650 nm, 即对应着 Alq_3 和 DCDDC 的本征发射(DCDDC 的波峰由 670 nm 移动到 650 nm 的原因将在下文阐述). 这证明了在掺杂体系中可以有效地实现由 Alq_3 分子向 DCDDC 分子的不完全能量转移, 只要合理的调节 DCDDC 掺杂浓度比例, 就可以控制掺杂体系 Alq_3 :DCDDC 中绿-红光的协同发射.

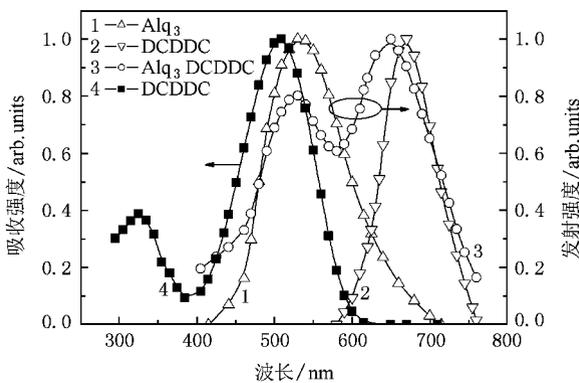


图 2 DCDDC, Alq_3 薄膜和掺杂薄膜的 PL 光谱, DCDDC 薄膜的紫外—可见吸收光谱

图 3 为超薄层器件 A 和掺杂层器件 B 的电流-亮度-电压特性曲线. 从图中可以看出, 器件 A 的启亮电压为 4 V; 当亮度为 100 cd/m^2 和 1000 cd/m^2 时, 对应的电压分别为 6 V 和 8.1 V; 当电压为 18.5 V 时达到最大亮度 16690 cd/m^2 . 器件 B 的启亮电压为 5 V; 当亮度为 100 cd/m^2 和 1000 cd/m^2 时, 对应的电压分别为 7.9 V 和 10.6 V; 当电压为 17 V 时达到最

大亮度 12580 cd/m^2 . 相比之下, 器件 A 的发光性能明显优于器件 B. 文献^[17]曾指出, OLEDs 的驱动电压与器件发光层的厚度呈线性关系, 较薄的发光层能有效的降低阻抗, 从而降低驱动电压. 器件 A 的总发光层厚度约为 12 nm, 而器件 B 的总发光层厚度达到 50 nm. 因此, 在相同的亮度下, 器件 A 的驱动电压会明显降低. 另外, 在整个电压范围内, 我们发现器件 A 的电流密度远远大于器件 B 的电流密度, 这可以从以下三方面解释: 1) 器件 A 的发光层厚度(120 Å 左右) 远远低于器件 B 的发光层厚度(500 Å), 发光层的阻抗降低, 更有利于载流子在器件中传输, 载流子增多, 电流密度也相应增大; 2) 在器件 B 中, DCDDC 作为染料掺杂到主体材料 Alq_3 中后, 由于载流子陷阱的作用能够俘获部分空穴-电子对, 这在一定程度上减少了载流子的密度. 另外, 由于载流子被 DCDDC 空位俘获后会在发光层中形成内建的空间电场, 静电排斥作用阻碍载流子从电极注入和在发光层内的传输, 在宏观上体现为电流密度减小; 3) 作为空穴阻挡层和电子传输层, BCP 的成膜性比 Alq_3 差, 与金属阴极的附着能力也较差^[18], 因此, BCP 薄膜对器件 B 的电子注入和传输能力有一定影响, 会导致电荷载流子数量减少, 即电流密度

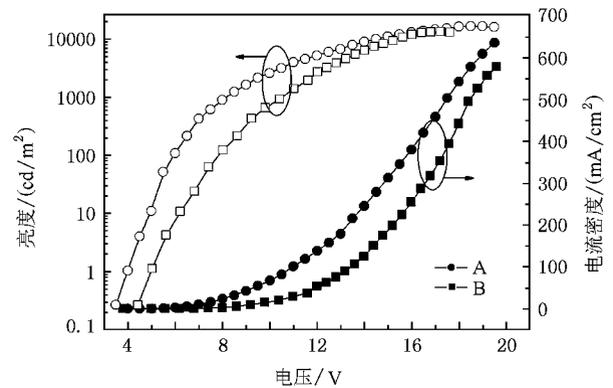


图 3 器件 A 和 B 的电流-亮度-电压特性曲线

器件 A 和器件 B 的功率效率(η_p)-电流效率(η_L)-电流特性曲线如图 4 所示. 我们可以看出, 在整个电流范围内, η_{LA} 特性曲线非常平滑. η_{LA} 从最大值 4.2 cd/A (1.2 mA/cm^2) 下降到 3.65 cd/A (350 mA/cm^2) 时, 降幅仅为 13%, 这说明器件 A 的发光性能比较稳定. 相比之下, η_{LB} 随着电流密度的增大下降较快, 从最大值 5.0 cd/A (37 mA/cm^2) 下降到 3.5 cd/A (350 mA/cm^2) 时, 降幅达到 30%. 另外, 两器件的

功率效率在高电流密度时基本相同,但在低电流密度时,器件 A 达到 2.4 lm/W,而器件 B 仅为 1.4 lm/W.这些性质均说明器件 A 比 B 具有更好的发光特性.

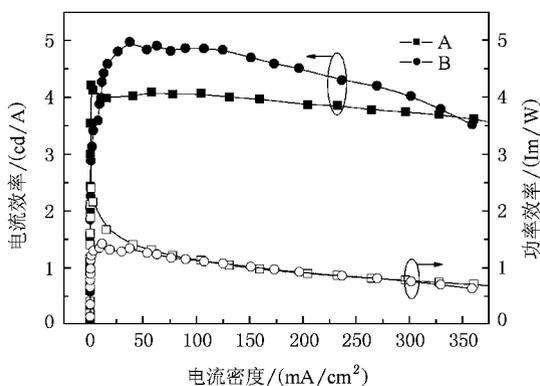


图 4 器件 A 和 B 的功率效率-电流效率-电流特性曲线

在外加电压下,电子和空穴首先分别从阴极和阳极注入到有机层,然后以跃迁的方式在电子传输层或空穴传输层中传输,并克服界面势垒进入发光层中形成激子复合发光.因此,电荷传输平衡和载流子的复合率决定了器件发光效率的大小^[19].图 5(a)是器件 A 的能级图,各种材料能级参数见文献 [20, 21].从图中可以看出,Alq₃ 的 HOMO 能级是 5.8 eV,比 DCDDC 的 HOMO 能级低 0.6 eV;相应的,Alq₃ 的 LUMO 能级是 3.0 eV,比 DCDDC 的 LUMO 能级高 0.1 eV.因此,在界面势垒的作用下,DCDDC 超薄层上会形成一个较深的空穴陷阱和一个较浅的电子陷阱,并有效的俘获自由电荷形成一个载流子复合中心.另外,在 DPVBi/Alq₃ 界面处还会形成另一个载流子复合中心.这是因为 DCDDC 薄膜仅有 0.4 Å,比原子直径(0.2—1 nm)还低一个数量级,这导致 DCDDC 的薄膜形态是不连续的^[22],大量电子仍可通过隧穿或跃迁的方式快速进入 Alq₃/DPVBi 界面处聚集(因为 DPVBi 的 LUMO 能级比 Alq₃ 的 LUMO 能级高 0.2 eV),并与界面处的空穴复合形成激子,其中部分激子被 Alq₃ 分子俘获形成绿光发射,部分激子被 DPVBi 分子俘获形成蓝光发射.由此可见,器件 A 的性能提高是由于两个载流子复合中心将激子有效的限制在发光层的区域范围内.通过优化各发光层的厚度,即可调节激子在 DCDDC(红) Alq₃(绿) DPVBi(蓝)三发光层的分布,从而有效的提高了发光层中的载流子复合概率,并相应的提高了器件效率.

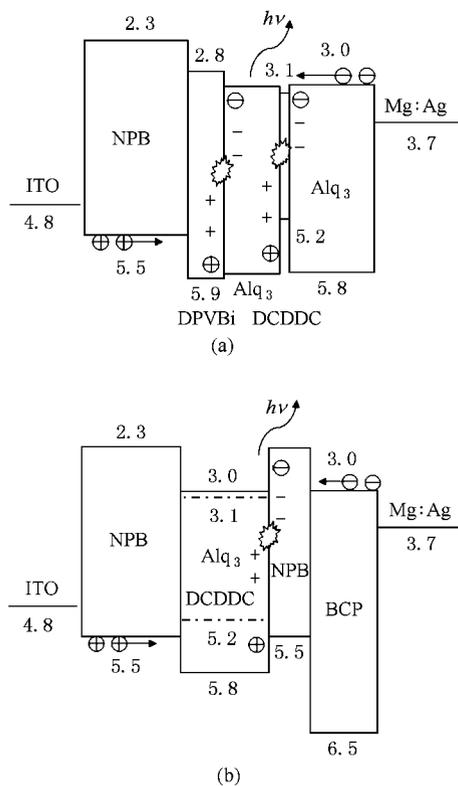


图 5 器件 A(a)和器件 B(b)的能级结构图

器件 B 的能级图如图 5(b)所示.从图中可以看出这是一个双发光层的掺杂结构,电子传输层/NPB 发光层之间的界面势垒(LUMO 能级)高达 0.7 eV,空穴传输层/Alq₃:DCDDC 发光层之间的界面势垒(HOMO 能级)为 0.3 eV.因此,当外加电场较低时,大量电子被阻挡聚集在 BCP/NPB 界面,只有少量电子能进入 Alq₃:DCDDC 发光层内,主要的载流子复合区域在电子传输层/NPB 发光层附近,激子主要被 NPB 分子俘获,说明此时蓝光占主导地位.当外加电场增大后,更多的电子能够克服势垒进入 NPB 层,相应的,也有更多的空穴克服界面势垒(0.3 eV)进入 Alq₃:DCDDC 发光层,此时载流子复合区域转移到掺杂层/NPB 层附近.部分激子仍然被 NPB 分子俘获,形成蓝光发射;但更多的激子被 Alq₃ 分子俘获后,部分形成绿光发射,部分通过能量转移给 DCDDC 形成红光发射^[14].所以,器件 B 的效率和光谱特性较强烈地依赖外加电压的变化,随着电流密度增大,绿光部分和红光部分的强度增大,白光的色纯度得以改善.此外,由于其三原色中的红光发射是通过部分能量转移实现的,亦不利于光谱的稳定性.

图 6 是器件 A 和 B 在不同电压下的电致发光

光谱特性.为了更清楚地分辨出光谱中的发射峰波段,我们对器件 A 的光谱曲线进行了高斯拟合,如图 6(a)所示.拟合后的曲线显示了三个主要的发射峰,分别位于 459 nm,510 nm 和 620 nm,与 DPVBi, Alq₃ 和 DCDDC 的本征发光谱峰一一对应.可以看出,DCDDC 的峰值波段由本征发光对应的 670 nm 移动到了 620 nm,这是由于当 DCDDC 为纯薄膜态时,其浓度很高,分子比较密集,故激发的红光色度很深,但当 DCDDC 以低浓度(0.1 wt%)掺杂到 Alq₃ 中后,DCDDC 的分子很少且分散在 Alq₃ 分子周围,其分子激发也主要通过 Alq₃ 分子能量转移实现,故激发的红光色度较浅,导致了 EL 谱峰由长波段向短波段的移动.这种现象在很多红色荧光染料器件中均有报道^[23].另外,我们发现器件 A 的 EL 光谱几

乎不依赖于电压变化,色坐标稳定在(0.330, 0.300).在 5—11 V 的电压范围内仅有(-0.020, +0.002)的移动,这说明激子确实被有效的限制在三个发光层内的复合区域中,外加电场的高低几乎对载流子复合中心的位置没有影响.与器件 A 相比,器件 B 的光谱也有三个主要的发射峰(如图 6(b)所示),分别位于 440 nm,530 nm 和 630 nm,即对应着 NPB,Alq₃ 和 DCDDC 的发射.但器件 B 的 EL 光谱比较明显的依赖于电压变化.当电压较低时,蓝光部分的强度占主导地位,色坐标(0.280, 0.254)位于蓝白区域,随着电压的升高,Alq₃ 和 DCDDC 的发射强度逐渐增大,色坐标也逐渐红移到(0.333, 0.333)附近.可以看出,当电压大于 9 V 时,器件的白光色纯度较好.

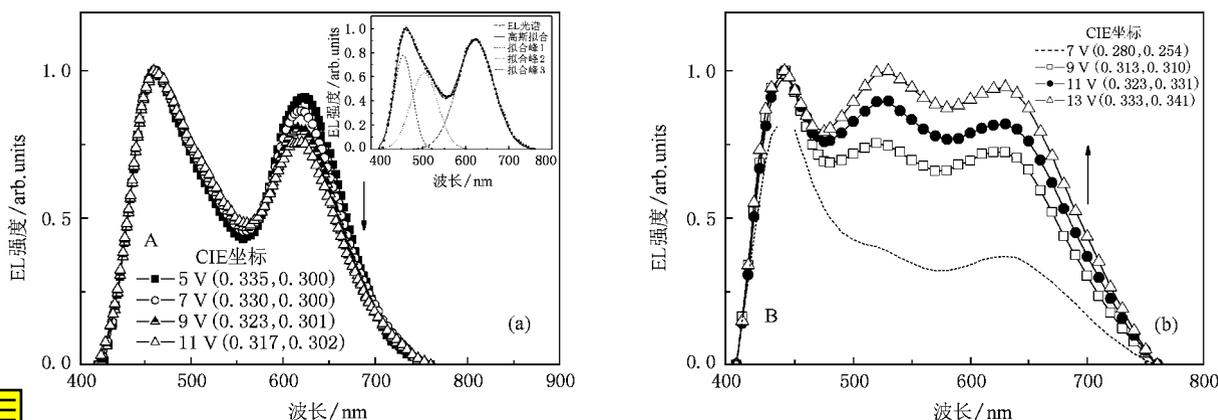


图 6 器件 A (a) 和器件 B (b) 的在不同电压下的电致发光光谱

4. 结 论

通过对基于 DCDDC 的白色有机电致发光器件的研究,比较了红色染料分别作为超薄层和掺杂材料对器件性能的影响.结果发现,基于 DCDDC 超薄层器件的发光性能和白光色稳定性均优于基于 DCDDC 掺杂的器件,前者的启亮电压仅为 4 V,最大功率效率和最大亮度分别为 2.5 lm/W 和 16690 cd/m²,色坐标在较大电压范围内稳定在(0.330, 0.300)

附近,而后者的启亮电压为 5 V,最大功率效率和最大亮度分别为 1.4 lm/W 和 12580 cd/m²,色坐标随电压增大后由蓝白区域红移到白光等能点附近.该研究系统性地分析了基于红色染料超薄层和掺杂体系的两种白光器件的内部发光机理和载流子复合区域的变化,研究了 DCDDC 超薄层的直接载流子俘获特性和 Alq₃:DCDDC 体系中的不完全能量转移特性,对进一步理解和选择制备高性能稳定的白光有机电致器件具有一定的参考价值和指导意义.

- [1] D 'Andrade B W , Forrest S R 2004 *Adv. Mater.* **16** 1585
- [2] Wang J , Yu J S , Li L , Tang X Q , Jiang Y D 2008 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **41** 045104
- [3] Wu X M , Hua Y L , Yin S G , Zhang G H , Hui J L , Zhang L J , Wang Y 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 1150 [in Chinese] 吴晓明、华玉林、印寿根、张国辉、惠娟利、张丽娟、王 宇 2008 物理学报 **57** 1150]
- [4] Yook K S , Keon S O , Joo C W , Lee J Y 2008 *Appl. Phys. Lett.* **93** 113301
- [5] Lee Y G , Kee I S , Shim H S , Ko I H , Lee S , Koh K H 2007 *Appl. Phys. Lett.* **90** 243508
- [6] Sun Y , Forrest S R 2007 *Appl. Phys. Lett.* **91** 263503
- [7] Kim Y M , Park Y W , Choi J H , Ju B K , Jung J H , Kim J K 2007 *Appl. Phys. Lett.* **90** 033506
- [8] Cao J , Jiang X Y , Zhang Z L , 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 3493 [in Chinese] 曹 进、蒋雪茵、张志林 2007 物理学报 **56** 3493]
- [9] Chen J X , Huang X W 2007 *Organic Electroluminescent Materials and Devices* (Beijing : Tsinghua University Press) p226 [in Chinese] [陈金鑫、黄孝文 2007 OLED 有机电致发光材料与器件 (北京 : 清华大学出版社) 第 226 页]
- [10] Qi X F , Sloatsky M , Forrest S R 2008 *Appl. Phys. Lett.* **93** 193306
- [11] Choukri H , Fischer A , Forget S , Ades D , Siove A , Geffroy B 2006 *Appl. Phys. Lett.* **89** 183513
- [12] Cheng G , Zhao Y , Zhang Y F , Liu S , He F , Zhang H Q , Ma Y Q 2004 *Appl. Phys. Lett.* **84** 4457
- [13] Tao S , Lee C S , Lee S T , Zhang X 2007 *Appl. Phys. Lett.* **91** 013507
- [14] Tao X T , Miyata S , Sasabe H , Zhang G J , Wada T , Jiang M H 2001 *Appl. Phys. Lett.* **78** 279
- [15] Suo F , Yu J S , Deng J , Jiang Y D , Wang R , Wang Z W , Liu T X 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 6685 [in Chinese] 锁 钊、于军胜、邓 静、蒋亚东、王 睿、汪志伟、刘天西 2007 物理学报 **56** 6685]
- [16] Wang J , Yu J S , Lu L , Wang T , Yuan K , Jiang Y D 2008 *Appl. Phys. Lett.* **92** 133308
- [17] D 'Andrade B W , Forrest S R 2003 *J. Appl. Phys.* **94** 3101
- [18] Li L , Yu J S , Tang X Q , Wang T , Li W , Jiang Y D 2008 *J. Lumin.* **128** 1783
- [19] Baek H , Lee C 2008 *J. Appl. Phys.* **103** 124504
- [20] Jiang Y D , Wang J , Yu J S , Li W , Wei X Q , Wu Z M 2007 *Jpn. J. Appl. Phys.* **46** 523
- [21] Yu J S , Li W Z , Jiang Y D , Li L 2007 *Jpn. J. Appl. Phys.* **46** L31
- [22] Matsumura M , Furukawa T 2001 *Jpn. J. Appl. Phys.* **40** 3211
- [23] Yu J S , Chen Z J , Sone M , Miyata S , Li M , Watanabe T 2001 *Jpn. J. Appl. Phys.* **40** 3201

High performance white organic light-emitting devices based on a novel red fluorescent dye 3-(dicyanomethylene)-5 , 5-dimethyl-1-(4-dimethylamino-styryl) cyclohexene *

Wen Wen¹⁾ Wang Bo²⁾ Li Lu¹⁾ Yu Jun-Sheng^{1)†} Jiang Ya-Dong¹⁾

¹⁾ State Key Laboratory of Electronic Thin Films and Integrated Devices , School of Optoelectronic Information ,
University of Electronic Science and Technology of China (UESTC) , Chengdu 610054 , China)

²⁾ 63916 Unit of PLA , Beijing 100142 , China)

(Received 26 December 2008 ; revised manuscript received 7 April 2009)

Abstract

White organic light-emitting devices based on a red fluorescent dye 3-(dicyanomethylene)-5 , 5-dimethyl-1-(4-dimethylamino-styryl) cyclohexene(DCDDC) were fabricated and investigated. Two kinds of devices were processed using ultrathin technology and doping technology. The structures of the devices were as followed : 1) indium-tin oxide (ITO)/N , N'-diphenyl-N , N'-bis(1-naphthyl-phenyl)-1 , 1'-biphenyl-4 , 4'-diamine (NPB)/4 , 4'-bis(2 , 2'-diphenylvinyl)-1 , 1'-diphenyl (DPVBi)/tris(8-quinolinolato) aluminum (Alq₃)/DCDDC/Alq₃/Mg :Ag ; 2) ITO/NPB /Alq₃ :DCDDC/NPB/2 , 9-dimethyl-4 , 7-diphenyl-1 , 10-phenanthroline (BCP)/Mg :Ag. The luminescence and efficiency characteristics of these two devices were measured and compared. The results showed that both devices A and B exhibited white light consisting of RGB three primary colors. Moreover , device A had a turn on voltage of 4 V , a maximum power efficiency of 2.4 lm/W at 5.5 V and a maximum luminance of 16690 cd/m² at 18.5 V. Also , pure white emission with Commissions Internationale De L 'Eclairage (CIE) coordinates near (0.330 , 0.300) having a slight variation of (- 0.020 , + 0.002) in a wide range of voltages was observed. In contrast , devices B showed a turn on voltage of 5 V , a maximum power efficiency of 1.4 lm/W at 5.5 V and a maximum luminance of 12580 cd/m² at 17 V. The CIE coordinates had a red shift as the voltage increased and then kept near the optimum white point of (0.33 , 0.33) over 9 V. It was found that the difference in characteristics of these two devices was dependent on the variation of charge recombination zone. To be specific , it was due to the direct charge trapping effect of DCDDC ultrathin layer and the properties of incomplete energy transfer in Alq₃ :DCDDC doping system.

Keywords : organic light-emitting diode (OLED) , white light , red fluorescent dye , doping

PACC : 7860F , 3250F , 3350D

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60721001) , the National High Technology Research and Development Program of China (Grant No. 2007AA03Z424) , the Program for the New Century Excellent Talents in University of Ministry of Education , China (Grant No. 06-0812) and the Young Talent Project of UESTC (Grant No.060206).

† Corresponding author. E-mail : jsyu@uestc.edu.cn