

文章编号:1673-9981(2010)04-0317-04

# 基于新型有机发光材料的白光照明器件的开发\*

周军红, 王磊, 王坚, 彭俊彪

(华南理工大学材料科学与工程学院高分子光电材料与器件研究所, 广东 广州 510640)

**摘要:**基于可溶液加工的白光有机发光器件(WOLED)具有高效、环保的优点。基于新型的有机发光蓝G0、绿Ir(mppy)<sub>3</sub>、红Ir(piq)<sub>2</sub>acac材料,采用溶液加工的方法,成功实现了WOLED的流明效率达到了15.5 cd/A,且功率效率也达到9.1 lm/W。同时,做出了国内乃至世界第一块基于溶液加工的3.5英寸白光背光板。

**关键词:**高效率; 环保; 有机发光材料; 有机白光发光器件

**中图分类号:** TQ317

**文献标识码:** A

随着全球人口和经济规模的不断增长,人类对能源的需求也越来越大,而能源使用带来的环境问题,也变得日益突出。如何去解决人类对能源的需求与环境破坏之间的矛盾,节能减排是关键。全世界每年有20%的电力用于照明,而目前市场上用于照明的白炽灯泡、荧光灯、LED都存在各自的不足。白炽灯泡的功率效率太低,有接近90%的能量因发热而损耗;荧光灯的发光效率虽高,但它是由汞蒸汽放电产生的紫外线( $\lambda=266\text{ nm}$ )激发磷光物(荧光粉)而发光,它不仅寿命短且管中的汞会给环境带来严重的污染;LED照明灯又存在生产工艺复杂、污染严重、成本高等问题,所有这些问题都与节能减排的目标相违背。所以,开发新型的节能、环保的照明器件,将对缓解人类对能源日益增大的需求、控制环境的污染、实现人类社会的可持续发展起到重要的作用。近年来,因有机电致白光器件既可以作为平面显示的背光源,还可以用作固态发光,同时其以简单的制作工艺,可实现大面积的超薄、高效率、低能耗的面板光源,材料供应丰富、廉价等优点引起了科学界、工业界的广泛兴趣<sup>[1-3]</sup>。在过去的十多年中,通过全世界科学工作者的共同努力及各国政府、企业的大量投资,基于小分子的有机电致白光器件在照明

领域已经成功实现商业化,其报道的最高效率已经达到90 lm/W<sup>[4]</sup>;而基于可溶液加工型的共轭高分子的有机电致白光器件也取得了很大的进展<sup>[5-6]</sup>。

本文通过新型的高效率、可溶液加工的荧光 $\pi$ 共轭树枝状蓝光材料(G0)与高效率的、可溶液加工的发绿光(Ir(mppy)<sub>3</sub>)和发红光(Ir(piq)<sub>2</sub>acac)的磷光材料按照一定的质量配比共混,得到了高效率的发白光的混合溶液,并进一步通过器件结构的优化,成功实现了有机白光发光器件的流明效率突破了15.5 cd/A,而功率效率也达到9.1 lm/W,达到了白炽灯的效率。更值得一提的是通过该方案成功地开发出全国乃至世界第一块基于溶液加工的3.5英寸白光背光板。

## 1 实验部分

器件的结构:导电的铟锡氧化物衬底(ITO)/导电高分子聚(3,4-二氧乙基噻吩);聚对苯乙烯磺酸(PEDOT; PSS)(厚度50 nm)/聚乙烯基咔唑(PVK)(厚度40 nm)/发光层(EML)(厚度60 nm)/钡(Ba)(厚度4 nm)/铝(AL)(厚度200 nm),发光层是由G0, Ir(mppy)<sub>3</sub>和Ir(piq)<sub>2</sub>acac三种材料按

收稿日期:2010-10-14

\*基金项目:国家科技部973项目(2009CB623604和2009CB930604);863项目(2008AA03A311)

作者简介:周军红(1980—),男,湖北天门人,研究生。

照质量比 100 : 0.25 : 0.25 共混。发光材料的分子结构及器件结构在文献[7-8]中有详细的描述,器件的制作过程遵循的是成熟的工艺,该工艺在文献[7]中有详细地描述。

原料:实验中用到的所有化学材料都是通过购买或其它实验室提供,其中 PEDOT 和 PSS 从德国拜耳公司购买(H. C. Stark, Inc.),PVK 从 Aldrich 公司购买,Ir(piq)<sub>2</sub>acac 和 Ir(mppy)<sub>3</sub> 从美国染料公司购买,G0 由北京大学裴坚教授小组提供。

仪器:实验中的电流密度 *J*、电压 *V* 及亮度 *L* 特性由吉时利(Keithley)236 及硅光二极管测定,它们特性曲线由色度仪 CS-200 (柯尼卡美能达)校正得到。电致发光光谱及 CIE 坐标由 PR-705 分光光度计(Photo Research)测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 能级匹配及转移

对于有机白光发光的效率主要由所用的发光材料的效率、电子-空穴注入及传输平衡等因素决定。本文选择的红绿蓝材料各自的发光效率,在早期的文献中有报道<sup>[7]</sup>。蓝绿红各自的最大效率分别达到 5.3 cd/A,35.7 cd/A 及 6.8 cd/A,这些效率在当前相应的红绿蓝材料中表现相当的突出,完全能够满足在运用于白光共混中对红绿蓝单色材料的要求。当然,红绿蓝材料各自的发光效率高还不能说明在共混过程中足以实现高效白光,因为电子-空穴的注入和传输及该过程中的平衡问题对白光器件的效率也有很大的影响。而材料之间能级的匹配又对电子-空穴的注入及平衡有很大的影响。

图 1 为材料的能级匹配图。从图 1 可以看出,三种材料共混后不仅本身体系的能级完全匹配,而且发光层与相邻功能层之间的能级也完全匹配。

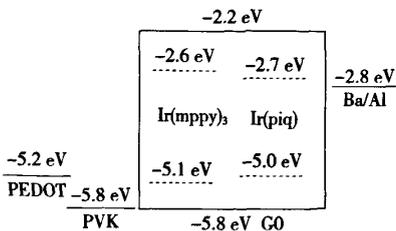


图 1 材料的能级匹配图

对于红绿蓝材料共混而得到发白光的溶液体系,要实现高效率的白光器件,要求蓝光与绿光,绿光与红光之间能量的转化要彻底,而能量的转化需要给体材料的带隙比受体材料的带隙宽。图 1 中所示蓝光材料 G0 作为给体材料,其带隙比受体的绿光材料 Ir(mppy)<sub>3</sub> 要宽,而当绿光材料 Ir(mppy)<sub>3</sub> 作为给体材料,其带隙比受体材料 Ir(piq)<sub>2</sub>acac 的带隙要宽。这样由该三种材料共混的白光溶液就能理想地实现蓝光将部分能量转移给绿光,促进绿光的发射。同时绿光也能将部分的能量转移给红光,促进红光的发射,从而实现蓝、绿、红三者共同均衡发射得到理想的白光。图 2 为蓝、绿、红三者的电致发射光谱,从图 2 可见:三者的光谱叠加在一起基本覆盖了整个可见光区域,由此而得到的白光将会实现高显色指数;白光光谱可以看到蓝绿红三者的发射峰非常的均衡,由此也说明能量从蓝光到绿光,再由绿光到红光的转移过程中非常地彻底。

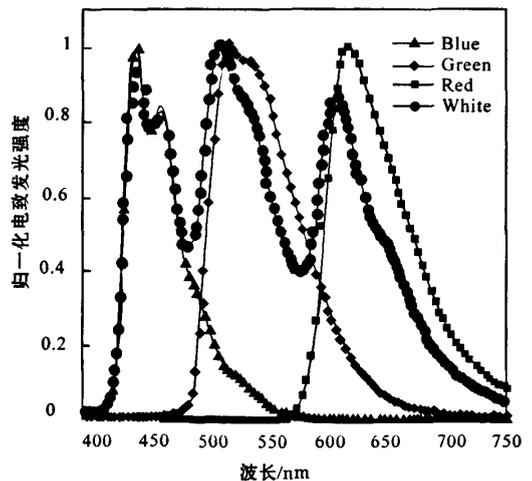


图 2 红绿蓝单色及共混后白光的电致发光光谱

### 2.2 白光器件的性能及颜色质量

为了得到纯正、高效的白光,进行了一系列的调配工作,最终选定了  $m(G0) : m(Ir(mppy)_3) : m(Ir(piq)_2acac) = 100 : 0.25 : 0.25$  的方案。白光光谱中三基色发光峰值分别为蓝光  $\lambda = 430$  nm、绿光  $\lambda = 510$  nm 和红光  $\lambda = 620$  nm,白光色坐标为 (0.31, 0.33)。器件的起亮电压为 4.5 V(即前向亮度为 1 cd/m<sup>2</sup> 时的电压),最大功率效率为 9.1 lm/W,最大流明效率达到 15.5 cd/A,最大亮度达到 30151

cd/m<sup>2</sup>.

图3为白光器件相应的发光特性曲线.从图3(b)流明效率随电流密度的变化趋势可以看出,器件的发光性能比较稳定,适合作为大面积照明板的白

光方案开发.作为评价白光质量的重要参数,显色指数(CRI)、色温(CCT)两项指标在该白光方案中也表现突出,实现了CRI达到90,CCT达到5600 K的理想白光.

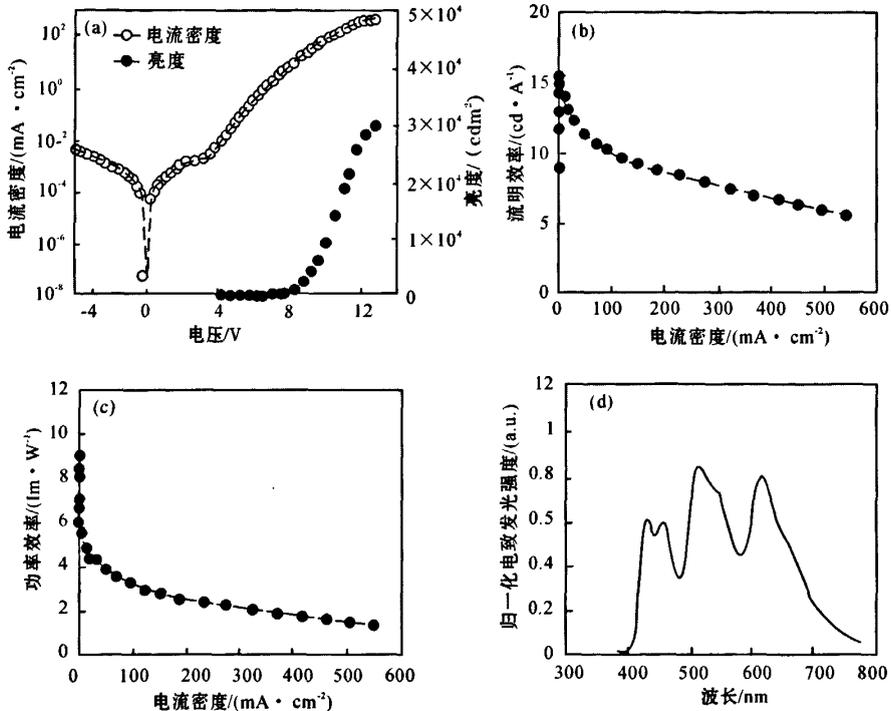


图3 白光器件的发光性能

(a) J-V-L 特性曲线; (b) 流明效率随电流密度的变化曲线; (c) 功率效率随电流密度的变化曲线; (d) 归一化的电致发光光谱

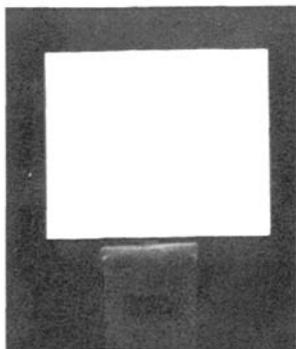


图4 3.5 inch 白光背光板

### 2.3 3.5 英寸白光背光板的实现

为了将该理想的白光发光方案运用于大面积的

白光背光板,首先开发出了3.5英寸的背光基板,该基板是2.7英寸长,2.2英寸宽.为了更好地促进电流从基板边缘注入到中央,充分在大面积器件器件上发挥该白光方案的优势,在ITO上面阵列化一系列的高电导率的金属铬线.整个制作的工艺基本和小面积器件的制作过程保持一致.图4中为3.5英寸背光板的照片.

## 3 结论

基于可溶液加工的新型有机发光红绿蓝材料,通过合适的质量配比共混,即  $m(G0) : m(Ir(mppy)_3) : m(Ir(piq)_2acac) = 100 : 0.25 : 0.25$ ,成功制备了高效、理想的白光发光器件.该有机白光器件的流明效率突破了15.5 cd/A,而功率效率也

达到 9.1 lm/W。该方案已经成功运用于大面积背光板,基于该方案开发出了国内乃至世界第一块溶液加工型的有机白光照明板。

#### 参考文献:

- [1] TANG C W, VANSLYKE S A. Organic electroluminescent diodes[J]. Appl Phys Lett, 1987, 51(12): 913.
- [2] BURROUGHS J H, BRADLEY D D, BROWN A R, et al. Light-emitting diodes based on conjugated polymers. Nature[J]. 1990, 347: 539.
- [3] KIDO J, KIMURA M, NAGAI K. Multilayer white light-emitting organic electroluminescent device[J]. Science, 1995, 267: 1332.
- [4] REINEKE S, LINDNER F, SCHWARTZ G, et al. White organic light-emitting diodes with fluorescent tube efficiency[J]. Nature, 2009, 459: 234.
- [5] HUANG F, SHIH P I, SHU C F, et al. Highly efficient polymer white-light-emitting diodes based on lithium salts doped electron transporting layer[J]. Adv Mater, 2009, 21 (3): 361.
- [6] WU H B, ZHOU G J, ZOU J H, et al. Efficient polymer white-light-emitting devices for solid-state lighting[J]. Adv Mater, 2009, 21: 4181.
- [7] WANG L, JIANG Y, LUO J, et al. Highly Efficient and Color-Stable Deep-Blue Organic Light-Emitting Diodes Based on a Solution-Processible Dendrimer[J]. Adv Mater, 2009, 21: 4854.
- [8] JIANG Y, WANG J Y, MA Y, et al. Biomimetic approach to perophoramidine and communesin via an intramolecular cyclopropanation reaction[J]. Org Lett, 2006, 8 (10): 4287.

## Development of the white lighting device based on new organic light-emitting materials

ZHOU Jun-hong, WANG Lei, WANG Jian, PENG Jun-biao

(Institute of Polymer Optoelectronic Materials and Devices, School of Materials Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** White organic light-emitting device which based on solution-process has the advantages of high efficiency and environmentally friendly. The white light emission was achieved by doping a blue emitting conjugated dendrimer G0 with phosphorescent green emitter Ir(mppy)<sub>3</sub>, and red emitter Ir(piq)<sub>2</sub>acac under the solution state, and the luminous efficiency and the power efficiency reach 15.5 cd/A and 9.1 lm/W, respectively. We successfully fabricated a World First 3.5 inch diagonal white backlight panel with a solution-processible.

**Key words:** high efficiency; environmentally friendly; organic light-emitting materials; white organic light-emitting devices