

# 顶发射白光 OLED 微型显示器的蓝光掺杂特性研究

段良飞<sup>1</sup>, 王光华<sup>1,2</sup>, 钱福丽<sup>1</sup>, 高思博<sup>1</sup>, 段瑜<sup>1,2\*</sup>, 季华夏<sup>1</sup>, 范恒<sup>1</sup>

1. 云南北方奥雷德光电科技股份有限公司, 云南 昆明 650223  
2. 昆明物理研究所, 云南 昆明 650223

**摘要** 白光 OLED 微型显示器在信息显示领域具有重要的应用。采用真空镀膜系统, 依次蒸镀 Ag/ITO 复合薄膜作为阳极结构, 共蒸制备 Mg:Ag 复合膜作为半透明阴极结构, NPB 作为空穴传输材料和黄光主体材料, rubrene 作为黄光掺杂料, AND 作为蓝光主体料, DSA-Ph 作为蓝光掺杂料, Alq3 作为电子传输材料, 以结构和工艺简化的蓝、黄光互补色来实现白光, 通过共蒸发形式制备了结构为 Ag/ITO/NPB/NPB:rubrene(1.5%)/ADN:DSA-Ph( $x\%/x=2, 5, 8$ )/Alq3/Mg:Ag 的白光 OLED 微型显示器, 利用由 Photo Research PR655 光谱仪、Keithley 2400 程控电源组成的光谱测试系统对器件的光电性能进行表征, 研究了蓝光掺杂比对白光 OLED 微型显示器性能的影响。结果表明, 随着蓝光掺杂比的增加, 白光 OLED 微型显示器的亮度先增加后降低, 蓝光、黄光峰位有所偏移, 色坐标发生一定的漂移, 蓝光色纯度增加, 可通过调控发光材料掺杂比实现白光 OLED 微型显示器性能的可控制备。初步优化获得的蓝、黄混合白光 OLED 微型显示器的器件, 当驱动电压为 5.0 V 时, 器件亮度达到  $3\ 679\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , CIE 坐标为(0.263, 0.355)。

**关键词** 白光; OLED 微型显示器; 掺杂结构; 器件性能

**中图分类号**: TN304.5 **文献标识码**: A **DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)08-2630-04

## 引言

OLED 微型显示器具有自发光、厚度薄、响应时间快、高低温特性好、发光效率高、集成度高、易于携带等优异特性<sup>[1-2]</sup>。在军事、航空航天和个人消费电子(数码相机、电子观景窗、可穿戴式设备)等领域具有重要的应用前景<sup>[3-4]</sup>。主动式 OLED 微型显示器正向高分辨率、高集成度、超低功耗、高亮度、全彩色、快速响应和长寿命等方向发展。白光 OLED 可以作为液晶显示器的背光源, 用于固态照明, 用于全彩显示等方面, 受到了广泛关注<sup>[5-7]</sup>。在有机电致发光的材料体系当中, 直接发白光材料很稀少, 而且效果并不理想<sup>[8]</sup>。为了克服这些问题, 采用在主体材料中引入一定比例的掺杂材料, 通过主体材料的直接激发或主体材料的能量转移, 客体分子发出它的特征光谱。在掺杂比例合适的情况下器件的发光光谱得到改善, 效率也得到提升<sup>[9]</sup>。白光 OLED 器件的获得大都是通过掺杂以多种颜色颜色混合实现, 主要方法有利用互补色蓝色和黄色, 红色和青色, 红、绿、蓝三

原色混合等得到白光<sup>[10-11]</sup>。为了简化器件结构, 采用共蒸发的方式在主体材料中分别掺杂蓝、黄掺杂料, 制备出白光 OLED 微型显示器, 并通过优化蓝光掺杂料的掺杂比优化器件性能。

## 1 实验部分

### 1.1 器件制备

采用黄光与蓝光混合制备白光 OLED 微型显示器, 利用 NPB 作为空穴传输层, Alq3 作为电子传输层, 其中黄光采用峰值光谱位于 560 nm 的 rubrene 材料作为黄光掺杂料, NPB 作为黄光的主体料, 以共蒸发形式制备 NPB:rubrene(1.5%)结构作为黄光发射层, 蓝光采用峰值光谱位于 470 和 500 nm 的 DSA-Ph 作为掺杂料, AND 作为主体料。以共蒸发形式制备 ADN:DSA-Ph( $x\%$ ,  $x=2, 5, 8$ )结构作为蓝光发射层, 阴极 Mg 和 Ag 的共蒸比率为 10:1, 通过调控蓝光掺杂料的掺杂比制备了不同的白光 OLED 微型显示器器件, 如图 1 所示。

收稿日期: 2018-07-25, 修订日期: 2018-11-09

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(61604064), 云南省应用基础研面上项目(2016FB112), 云南省技术创新人才培养项目(2017HB111), 云南省院省校科技合作项目(2015IB016)资助

作者简介: 段良飞, 1988 年生, 云南北方奥雷德光电科技股份有限公司硕士研究生 e-mail: liangfeidian@hotmail.com

\* 通讯联系人 e-mail: duanyu@oleid.com

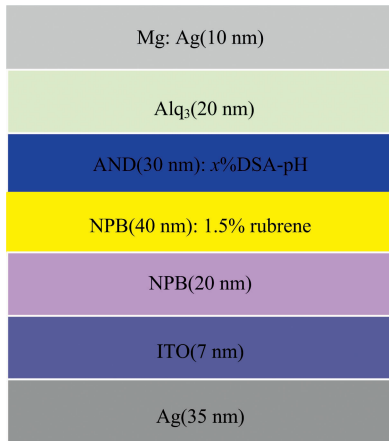


图 1 OLED 微型显示器结构

Fig. 1 Structure of OLED microdisplay device

1.2 性能表征

发光光谱、电压、亮度、色坐标等参数用自主搭建的 OLED 微型显示器测试系统进行测试，通过控制由 Photo Research PR655 光谱仪、Keithley 2400 程控电源等进行同步测量。计算机通过与 Keithley 2400 程控电源进行通讯，控制电源按设定的范围与步长向 OLED 器件输出电流或电压，同时对器件的电流-电压特性进行测量，OLED 器件受到电源驱动发光后，其发光亮度、光谱和 CIE 坐标由 Photo Research PR655 光谱系统测量并传输到计算机存储。

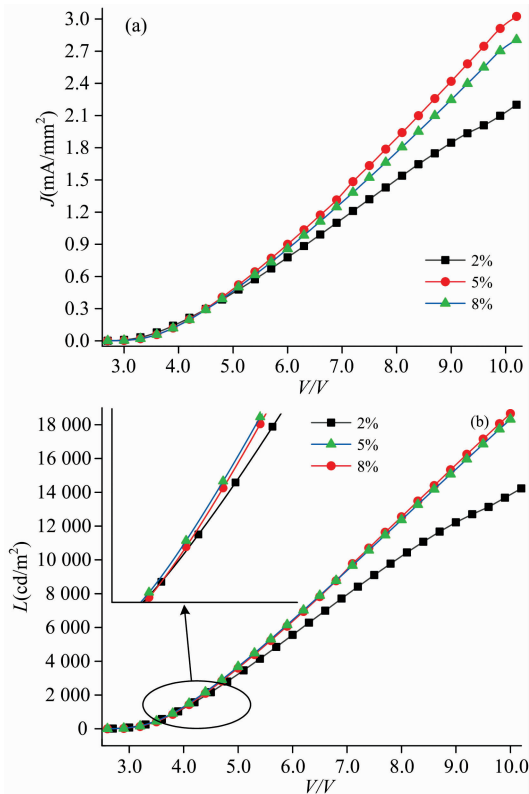


图 2 白光 OLED 的 J-V 曲线 (a) 和 L-V 特性曲线 (b)

Fig. 2 J-V characteristic curves (a) and L-V characteristic curves (b) of white OLED

2 结果与讨论

图 2 为不同蓝光掺杂比的白光 OLED 微型显示器的 J-V 特性曲线和 L-V 曲线。由图中可以看出，3 种白光 OLED 微型显示器件都具有整流效应，在低电压时，电流随电压增加变化不明显，当超过一定电压时，电流密度会急剧增加。且随着掺杂量的增加，启动电压逐渐减小。随着 DSA-Ph 掺杂量从 2% 增加到 5% 和 8%，器件的亮度先增大后减小，当掺杂量为 5% 时，器件在较低电压下获得了较高的亮度。在掺杂量为 8% 时，同等电压下器件的电流密度较高，亮度相差不大，而电流密度过高不利于器件稳定性和寿命的提高。结合 J-V 特性曲线和 L-V 曲线特性曲线的分析，当 DSA-Ph 的掺杂质量为 5% 时，器件的性能最好，且所得白光 OLED 微型显示器在电压为 5 V 时，亮度达到了  $3\ 679\ \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

图 3 为白光 OLED 微型显示器件在电流密度  $20\ \text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$  条件下的光谱图。并对各光谱进行分峰拟合，结果如表 1 所示。由图可知，器件在 470 和 500 nm 附近获得两个蓝光发光峰，在 560 nm 附近获得一个黄光发光峰。其蓝光峰值随着 DSA-Ph 掺杂量的增加呈先增加后减小的趋势，黄光峰呈递增趋势。结合图 3 和表 1 可知，随着 DSA-Ph 掺杂量的增加，使得蓝光 470 nm 的峰位的蓝移偏移量、峰强度、峰面积先增加后减小，半峰宽逐渐减小。500 nm 的蓝光峰位蓝移

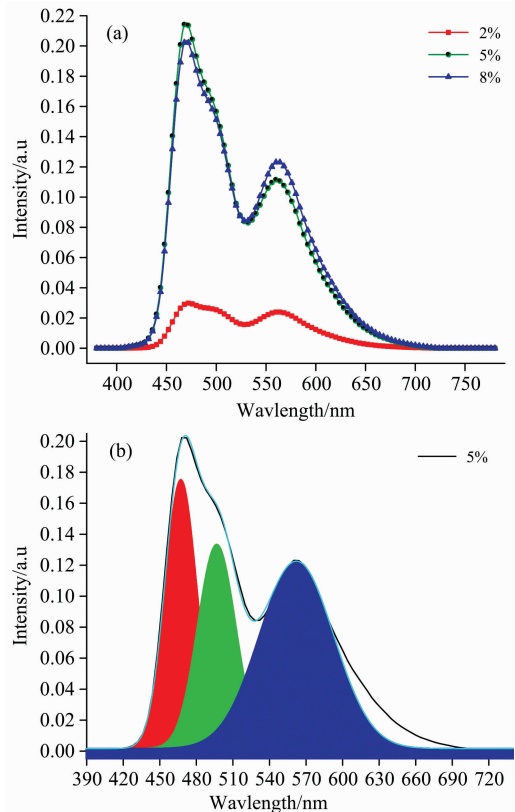


图 3 白光 OLED 器件发光光谱图 (a) 和发光光谱的分峰拟合图 (b)

Fig. 3 Luminescence spectra (a) and peaks fitting (b) of white OLED

偏移量逐渐增加,半峰宽逐渐减小,峰强度和峰面积先增加后减小。并且使得黄光 560 nm 峰位发生一定的偏移,这主要时因为随着掺杂量的增加,提高了蓝光发光激子的复合

率,掺杂比进一步增加又影响的激子复合几率。掺杂量 5% 时黄光峰位接近 560 nm,偏移量只有 0.72 nm。色彩混合比和色彩纯度较好。

表 1 白光 OLED 器件光谱参数

Table 1 Spectral parameters of white OLED devices

序号	蓝光掺杂比/%	Peak-fit								
		Peak1			Peak2			Peak3		
		470 nm			500 nm			560 nm		
		$\lambda/\text{nm}$	FWHM/nm	A	$\lambda/\text{nm}$	FWHM/nm	A	$\lambda/\text{nm}$	FWHM/nm	A
1	2	467.68	32.02	0.86	498.28	37.62	0.87	562.98	69.47	1.77
2	5	466.89	31.43	6.25	497.00	37.49	5.37	560.72	71.60	8.46
3	8	467.24	30.64	5.66	496.67	36.80	5.16	562.10	71.70	9.23

进一步对不同蓝光掺杂量下白光 OLED 器件的 CIE 坐标进行分析,结果如图 4 所示。电压为 4.1~5.4 V 时,DSA-Ph 掺杂量为 2% 的白光 OLED 器件 CIE 坐标由 (0.295, 0.399) 逐渐漂移到 (0.288, 0.392), CIE 坐标的最大漂移量为 (0.007, 0.007)。DSA-Ph 掺杂量为 5% 的白光 OLED 微型显示器 CIE 坐标由 (0.286, 0.375) 逐渐漂移到 (0.277, 0.367), CIE 坐标的最大变化量为 (0.009, 0.008)。DSA-Ph 掺杂量为 8% 的白光 OLED 微型显示器器件 CIE 坐标由

(0.270, 0.362) 逐渐漂移到 (0.261, 0.353), CIE 坐标的最大变化量为 (0.009, 0.009)。DSA-Ph 掺杂量在 2%~5% 变化时,相同电压下 CIE 坐标也会发生偏移。这主要是因为随着 DSA-Ph 掺杂比和电压的变化,蓝光和黄光材料对载流子的俘获能力、激子复合中心、发光机理均不同,从而导致色坐标的改变<sup>[12]</sup>。标准白光发射点 CIE 坐标为 (0.33, 0.33), 通常实际应用的发光亮度白光器件的 CIE 坐标分别为 (0.339, 0.376) 与 (0.335, 0.373)。DSA-Ph 掺杂量为 5% 的 OLED 器件 CIE 坐标更接近白光。

结合图 3、图 4 可知,发光层掺杂比对白光 OLED 器件发射峰的位置、色纯、色坐标及其漂移量造成一定的影响,可通过控制发光层的掺杂比来实现色彩的调控,优化得到 DSA-Ph 的掺杂量为 5%。

### 3 结论

采用结构和工艺简化的蓝、黄光互补色来实现白光,具体采用 NPB 作为空穴传输材料和黄光主体料, rubrene 作为黄光掺杂料, AND 作为蓝光主体料, DSA-Ph 作为蓝光掺杂料, Alq3 作为电子传输材料。通过共蒸发形式制备了 NPB: rubrene(1.5%)/ADN: DSA-Ph(x%) 作为白光 OLED 微型显示器的主体发光结构,初步优化获得 DSA-Ph 掺杂比为 5% 时,器件的性能最好,所得白光 OLED 微型显示器色彩纯度和蓝黄混合比较好,亮度较高,在电压为 5 V 时,亮度达到了  $3\ 679\ \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ , CIE 坐标为 (0.263, 0.355) 更接近白光。通过控制发光层的掺杂比可实现白光 OLED 微型显示器性能的调控。

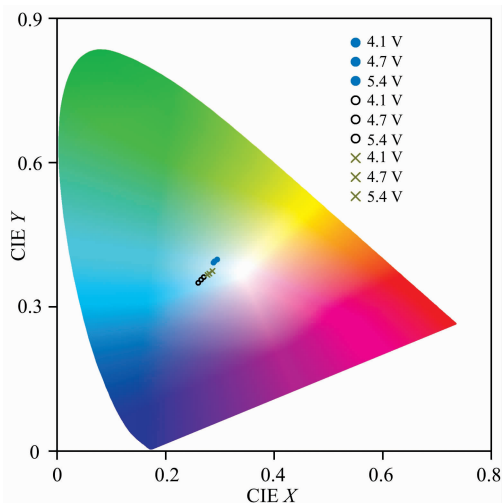


图 4 白光 OLED 微型显示器件色坐标图

Fig. 4 Color coordinate diagram of white OLED microdisplay device

### References

- [1] WANG Xu-peng, MI Bao-xiu, GAO Zhi-qiang (王旭鹏, 密保秀, 高志强). Acta Physica Sinica (物理学报), 2011, 60(8): 843.
- [2] LIU Bai-quan, GAO Dong-yu, WANG Jian-bin (刘佰全, 高栋雨, 王剑斌). Acta Physico-Chimica Sinica (物理化学学报), 2015, 31(10): 1823.
- [3] Xie Guohua, Zhang Zhensong, Xue Qin. Organic Electronics, 2010, 11(12): 2055.
- [4] Richter B, Vogel U, Wartenberg P. OLED-on-CMOS Based Bidirectional Microdisplay for Near-to-Eye and Sensor Applications. Semiconductor Conference Dresden IEEE, 2011. 1.
- [5] Chang C H, Tien K C, Chen C C. Organic Electronics, 2010, 11(3): 412.

- [ 6 ] Zhou J, Ai N, Wang L. *Organic Electronics*, 2011, 12(4): 648.
- [ 7 ] Chang C H, Ho C L, Chang Y S. *Journal of Materials Chemistry C*, 2013, 1(15): 2639.
- [ 8 ] Niu X D, Zhang B H, Xie Z Y, et al. *Appl. Phys. Lett.*, 2010, 96(7): 073303.
- [ 9 ] MA Ying, HAN Wei, ZHANG Fang-hui, et al(马 颖, 韩 薇, 张方辉, 等). *Chin. J. Lig. Crys. Disp.*(液晶与显示), 2011, 26(1): 40.
- [10] Chang Chih-Hao, Cheng Hsing-Chieh, Lu Yin-Jui. *Organic Electronics*, 2010, 11(02): 247.
- [11] Jou Jwo-Huei, Chou Yi-Chieh, Shen Shih-Ming. *Journal of Materials Chemistry*, 2011, 21(46): 18523.
- [12] Kalinowski J, Cocchi M, Virgili D, et al. *Advanced Materials*, 2007, 19(22): 4000.

## Study on Blue Dopant Ratio on the Performance of TOP-Emitting White OLED Microdisplays

DUAN Liang-fei<sup>1</sup>, WANG Guang-hua<sup>1,2</sup>, QIAN Fu-li<sup>1</sup>, GAO Si-bo<sup>1</sup>, DUAN Yu<sup>1,2\*</sup>, JI Hua-xia<sup>1</sup>, FAN Heng<sup>1</sup>

1. Yunnan Olightek Opto-Electronic Technology Co., Ltd., Kunming 650223, China

2. Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China

**Abstract** White OLED microdisplays have an important application in the field of information display. In this paper, The vacuum coating system is used to sequentially deposit an Ag/ITO composite film as the anode structure and Mg: Ag composite film is co-distilled to form a translucent cathode structure. NPB is used to hole transport material and yellow light host material, rubrene as yellow light dopant, AND as blue host material, DSA-Ph as blue light dopant and Alq3 as electron transport material. The white OLED microdisplay structure with blue and yellow complementary colors prepared by co-evaporation is Ag/ITO/ NPB/NPB: rubrene (1.5%)/ADN: DSA-Ph( $x\%/x=2, 5, 8$ )/Alq3/Mg: Ag. The photoelectric performance of the device was characterized by a spectral testing system consisting of Photo Research PR655 spectrometer and Keithley 2400 program-controlled power supply. The effect of blue light doping ratio on the performance of white OLED microdisplay was studied. The result shows that with the increase of blue doping ratio, the brightness of white OLED microdisplay increases first and then decreases, the blue and yellow peaks shift to a certain extent, the color coordinates have a certain drift and the blue color purity increases. The performances of white OLED microdisplays can be controlled by doping material ratio. The optimized emitting structure of white OLED microdisplay is NPB: rubrene (1.5%) /ADN: DSA-Ph (5%), The device brightness is  $3\ 679\ \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$  and the CIE coordinates is (0.263, 0.355) with the driving voltage being 5.0 V.

**Keywords** White light; OLED Microdisplay; Doping structure; Performance

(Received Jul. 25, 2018; accepted Nov. 9, 2018)

\* Corresponding author