

文章编号: 1000-7032(2012)05-0545-04

## 利用光学微腔效应调节顶发射蓝光器件的色纯度

陈俊江<sup>1,2\*</sup>

(1. 长春理工大学, 吉林 长春 130021;

2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

**摘要:** 有机电致发光器件的发光颜色与色纯度在很大程度上受材料本身的限制, 而通过光学微腔效应可以从器件结构上的改变来调节色纯度。本文介绍了一种通过调节有机层厚度, 从而获得高纯度单色发光器件的方法。利用这种方法制作了有机顶发射蓝光器件, 器件结构为 Ag/m-MTDATA/NPB/DPVBi/Alq<sub>3</sub>/LiF/Al/Ag)。通过调节有机层的厚度, 获得了高色纯度的发光器件, 正向出射的蓝光色坐标达到了(0.14, 0.07)。

**关键词:** 光学微腔; 蓝光; 顶发射; 色纯度

中图分类号: TN383<sup>+</sup>.1

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fjxb20123305.0545

## Improvement of The Color Purity of Organic Blue Top-emitting Devices by Using Optical Microcavity

CHEN Jun-jiang<sup>1,2\*</sup>

(1. Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China;

2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

\* Corresponding Author, E-mail: chenjj@ciomp.ac.cn

**Abstract:** The color purity of organic light-emitting devices is restricted mostly by the intrinsic character of emitting material, but optical cavity can improve the color purity via changing the structure of devices. In this paper, we demonstrated that highly saturated homo-chromaticity light can be obtained by adjusting the thickness of organic layers. Organic top-emitting electroluminescent devices were fabricated in this method, the structure of the device was Ag/m-MTDATA/NPB/DPVBi/Alq<sub>3</sub>/(LiF/Al/Ag), and direct blue emission with Commission Internationale de L'Eclairage chromaticity coordinates of (0.14, 0.07) was obtained.

**Key words:** optical microcavity; blue light; top-emitting, color purity

### 1 引 言

有机电致发光器件(OLED)因其在平板显示技术中的巨大应用前景而成为当前研究的热点。自1987年C. W. Tang制作出高亮度有机小分子发光器件<sup>[1]</sup>以来, OLED有了飞跃发展。如今有

机电致发光的全彩色显示最重要的问题在于发光效率、色调和器件寿命。为了达到全彩色显示中白光发射的需求,提高单个RGB像素的色纯度成为了关键。对于有源驱动全彩色显示,三基色色纯度的提高可以降低相同亮度下的功耗<sup>[2]</sup>。对于大多数有机发光器件来说,由于发光材料本身

收稿日期: 2012-02-02; 修订日期: 2012-03-08

作者简介: 陈俊江(1977-), 男, 江苏如皋人, 主要从事光学器件和仪器仪表方面的研制。

E-mail: chenjj@ciomp.ac.cn

特性的限制,器件的 EL 谱的半峰宽大多在 70 ~ 100 nm<sup>[3]</sup>,因此高色纯度的单色发光很难实现。稀土有机配合物的使用可以从一定程度上提高发光的色纯度,但是其亮度普遍不高。为了得到高色纯度的单色发光,使 EL 谱半峰宽变窄,人们在 OLEDs 中引入了微腔调制的方法。

微腔结构在有机激光器研究中有重要应用价值<sup>[4]</sup>。与 OLEDs 相比,微腔结构可以使法线附近的光强明显增强<sup>[5]</sup>、谱线窄化<sup>[6]</sup>、提高单色性能<sup>[7]</sup>、增大 OLEDs 的外量子效率<sup>[8]</sup>。微腔结构的 OLEDs 可以在不透明 Si 基板上制作,易于实现高效显示所需要的复杂驱动电路与器件的集成<sup>[9]</sup>;也可以制作在黑色的衬底上,提高器件发光的对比度。适合应用于 TFT 驱动的微腔结构的顶部发射 OLEDs<sup>[10]</sup>。

由于有机顶发射器件的底电极和半透明顶电极具有一定的反射率,器件中有机层厚度的量级在 100 nm 左右,因此具有明显的微腔效应。Tokito 等<sup>[11]</sup>曾详细研究制作了微腔有机电致发光器件,并讨论了这种具有高纯度红光、蓝光和绿光器件的潜在应用价值。

本文讨论了微腔结构对顶发射器件的影响,并且通过简单的调节有机层的厚度,改变了对一定波长光的亮度增强,获得了色纯度比较高的蓝光。

## 2 实 验

本实验以表面镀有二氧化硅的硅片为衬底,依次经过丙酮、乙醇、去离子水超声清洗各 15 min,置于烘箱中烘干,然后在真空蒸镀设备中蒸镀 45 nm 的 Ag,取出后经紫外臭氧处理 30 s,作为阳极。有机层的生长是在真空有机气相沉积系统中进行的,生长过程中系统真空度维持在  $4.0 \times 10^{-4}$  Pa,材料的生长厚度和速率由美国产的 IL-2400 膜厚控制仪控制,蒸发速率控制在 0.1 ~ 0.2 nm/s。器件的性能由美国产 PR650 光谱仪和 Keithley2400 组成的系统测量,所有测试均在室温大气环境下进行。

## 3 结果与讨论

图 1 和图 2 是顶发射器件的有机材料的分子结构和器件的基本结构。顶电极与底电极直接构成了微腔结构中的上下两个反射镜,底电极

Ag 的反射率在可见光区域反射率高达 80%,顶电极由半透明的 Al/Ag 电极构成。由文献[12]中的公式可知,谐振波长与腔长、两个镜面的反射相移及有机物的折射率有以下关系:

$$L_{\text{eff}} = \sum_i n_i l_i + \frac{\lambda}{4\pi} |\sum \varphi_{\text{mi}}|, \quad (1)$$

其中, $L_{\text{eff}}$ 为微腔的有效光学厚度, $n_i$ 和 $l_i$ 分别为各层有机物的折射率和厚度, $\varphi_{\text{mi}}$ 为金属反射层与有机层之间的相移,可由下式给出<sup>[6]</sup>:

$$\varphi_m = \arctan\left(\frac{2n_s k_m}{n_s^2 - n_m^2 - k_m^2}\right), \quad (2)$$

其中, $n_m$ 和 $k_m$ 分别为金属复折射率的实部和虚

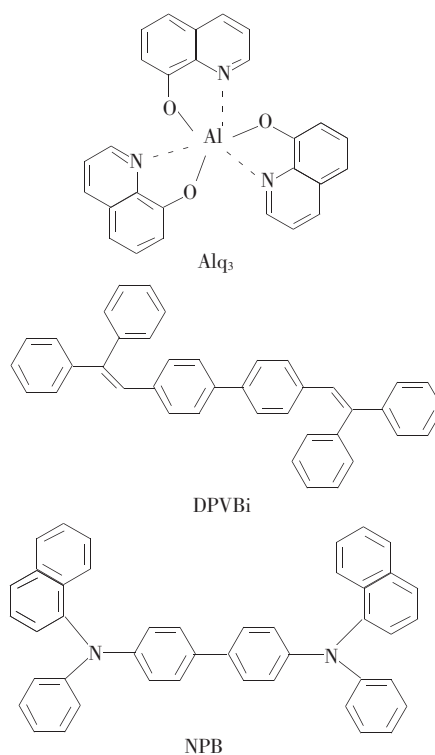


图 1 有机材料的分子结构

Fig. 1 Molecular structure of materials used in devices

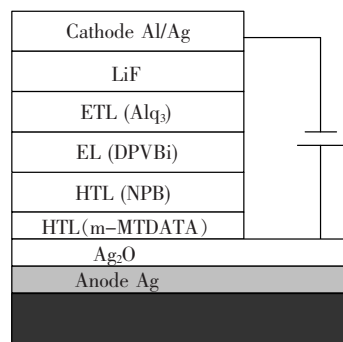


图 2 器件的基本结构

Fig. 2 Schematic optical microcavity device structures

部,  $n_s$  为与金属层相接触的有机物的折射率。

为了使有机器件微腔的谐振波长与 DPVBi 电致发光谱的峰值相匹配以实现增益, 需要谐振波长位于 DPVBi 电致发光谱的峰值处, 即为 456 nm。通过测定各层有机物的折射率, 再利用公式 (1) 可计算出有机层适宜的总厚度为 77.3 nm。

表 1 不同器件结构有机层的厚度及折射率

Table 1 The thicknesses of organic materials layer in optical microcavity and their refractive index

Device No.	Ag(anode)	nm			
		HTL m-MTDATA ( $n = 1.82$ )	HTL NPB ( $n = 1.84$ )	EL DPVBi( $n = 1.79$ )	ETL Alq <sub>3</sub> ( $n = 1.81$ )
A	45	22.3	5	15	30
B	45	22.3	5	15	32.5
C	45	22.3	5	15	35
D	45	22.3	5	15	37.5
E(ITO anode)	-	22.3	5	15	35

A、B、C、D 而言, 几乎不存在微腔效应。

受到器件微腔效应的影响, 顶发射有机发光器件的发射光谱随着器件厚度的改变也发生了改变。从图 3 中可以看到随着器件厚度的增大, 发光光谱的峰值从器件 A 的 452 nm 逐渐向长波方向移动。当器件 B 厚度达到 74.8 nm 时, 顶发射器件的发光光谱峰值就处在 456 nm, 此时器件色坐标为 (0.14, 0.07)。随着厚度继续增加, 器件的发光光谱逐步红移, 当器件 C 的厚度位于理论计算值 77.3 nm 时, 光谱峰值位于 460 nm, 与理论偏差了 4 nm 左右, 此时色坐标为 (0.14, 0.08)。我们推测这种偏差与膜厚监测误差有关。

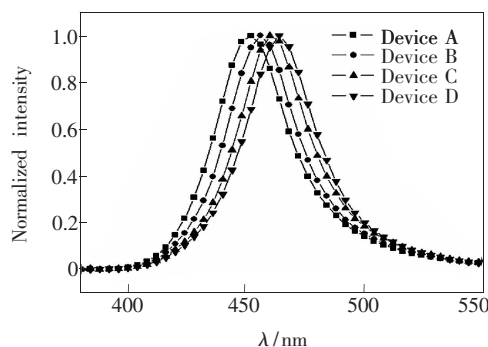


图 3 各顶发射器件 10 V 下的归一化发光光谱对比

Fig. 3 Spectra of different thicknesses microcavity device at 10 V

为了进一步说明微腔效应对器件发光光谱产生的影响, 我们对比了相同有机层厚度下无微腔

表 1 为各个器件结构中作为不同功能层的相应有机层厚度及其在 456 nm 下的折射率  $n$ , 其中器件 A、B、C、D 为顶发射微腔器件, 器件的阴极为出光端面, 采用半透明的 LiF (1 nm)/Al (2 nm)/Ag (20 nm) 作为复合电极。器件 E 为参比器件, 其采用透明的 ITO 玻璃作为衬底, 因此相较于器件

器件 E 与微腔器件 C 的发光光谱。从图 4 中可以看到, 当两个器件的有机层总厚度均为 77.3 nm 时, 顶发射微腔器件 C 的发光光谱半峰宽比无微腔效应器件 E 的发光光谱半峰宽要窄很多, 发光光谱的窄化是微腔器件对有机电致发光器件中有源层电致发光光谱调制的一个重要现象。由于器件 C 中微腔效应的存在使其光谱的半峰宽变为 36 nm, 而比较器件 E 中发光光谱的半峰宽却为 92 nm。光谱半峰宽的窄化使得有机电致发光器件的发光色度较纯, 有利器件在单色发光以及三基色发光显示中的应用。然而, 由于器件中有机层的总厚度在 75 nm 左右, 与传统的器件相比, 厚度更小, 导致了击穿电压很低。另一方面, 有机层厚度的减小导致有源层距离电极较近, 从而也会使电极熄灭加剧。

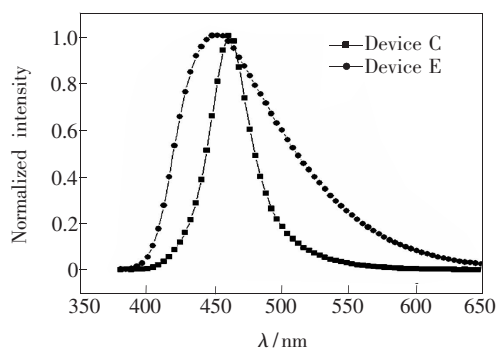


图 4 两种不同类型的发光器件归一化光谱对比

Fig. 4 The spectra of control device (E) and microcavity device (C)

## 4 结 论

综上所述,我们讨论了微腔效应对顶发射器件的影响,并在已有公式的基础上,设计并制作了

相关的顶发射蓝光器件,提高了发光的色纯度,使得正向出射的蓝光色坐标达到了(0.14,0.07)。实验结果表明,对于简单的顶发射器件,可以通过调节优化有机层的厚度,来得到高色纯度的出射光。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] Tang C W, Van Slyle S A. Organic electroluminescent diodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, 51(12):913-915.
- [ 2 ] Koeppe R, Müller J G, Lupton J M, *et al.* One- and two-photon photocurrents from tunable organic microcavity photodiodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, 82(16):2601-2603.
- [ 3 ] Wang Hongjie, Zhang Chunyu. Simulation of microcavity organic light-emitting device at different exciton positions [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2010, 31(2):167-170 (in Chinese).
- [ 4 ] Tessler N, Denton G J, Friend R H, *et al.* Lasing from conjugated polymer microcavities [J]. *Nature*, 1996, 382(6593):695-697.
- [ 5 ] Tsutsui T, Talada N, Saito S, *et al.* Control of spontaneous emission using microcavity structures in organic electroluminescent devices [J]. *Synth. Met.*, 1995, (71):2001-2004.
- [ 6 ] Fisher T A, Lidzey D G, Pate M A, *et al.* Electroluminescence from a conjugated polymer microcavity structure [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1995, 67(10):1355-1357.
- [ 7 ] Masenelli B, Gagnaire A, Berthelot L, *et al.* Controlled spontaneous emission of a tri(8-hydroxyquinoline) aluminum layer in a microcavity [J]. *J. Appl. Phys.*, 1999, 85(6):3032-3037.
- [ 8 ] Peng H J, Zhu X L, Sun J X, *et al.* Efficient organic light-emitting diode using semitransparent silver as anode [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, 87(17):173505-1-3.
- [ 9 ] Xiong Yijing, Zhong Meng, Xiong Chuanbing, *et al.* Investigation of strain of GaN light-emitting diode films transferred to metal substrate from Si(111) [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2010, 31(4):531-537 (in Chinese).
- [ 10 ] Chen C W, Hsieh P Y, Chiang H H, *et al.* Top-emitting organic light-emitting devices using surface-modified Ag anode [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, 83(25):5127-5129.
- [ 11 ] Tokito Shizuo, Tsutsui Tetsuo, Taga Yasunori. Microcavity organic light-emitting diodes for strongly directed pure red, green, and blue emissions [J]. *J. Appl. Phys.*, 1999, 86(5):2407-2411.
- [ 12 ] Li Yantao, Chen Hong, Chu Minghui, *et al.* Organic light-emitting devices with a coupled microcavity [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2011, 32(11):1186-1191 (in English).