

# 可弯曲式微腔有机电致发光器件的光学特性

熊志勇<sup>1</sup>, 李宏建<sup>1,2\*</sup>, 王俊西<sup>1</sup>, 周子游<sup>1</sup>, 袁 明<sup>1</sup>, 李雪勇<sup>1,2</sup>

(1. 中南大学 物理科学与技术学院, 湖南 长沙 410083; 2. 中南大学 材料科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘要:** 设计了结构为上反射镜/有机层/下反射镜/柔性基板的可弯曲式有机电致发光器件(FOLED)。利用几何光学模型计算了器件在不同弯曲情况下,其发光光谱随观测角和曲率的影响,并与平整器件的光谱作了比较。结果表明:1)基板向内弯曲时,随着观测角的增大,器件的发光光谱峰值出现蓝移,且蓝移的程度相对平整器件要大;随着曲率的增大,器件的发光光谱峰值出现蓝移。2)基板向外弯曲时,随着观测角的增大,器件的发光光谱峰值出现红移,但红移的程度不大;随着曲率的增大,器件的发光光谱峰值出现红移,且与基板向内弯曲时蓝移的程度相当。

**关键词:** FOLED; 柔性基板; 观测角; 曲率; 电致发光

**中图分类号:** TN383.1; TN873.3

**PACS:** 78.60.Fi

**PACC:** 7860F

**文献标识码:** A

## 1 引 言

有机电致发光器件作为一种全固态主动发光的显示器件,相对于其他显示器件而言,其最大的优势就是可将器件制作在柔性基板上,即可弯曲式(柔性)有机电致发光器件(FOLED)。FOLED就是利用 OLED 技术在塑料、纸张、金属薄膜等柔性基板上制作显示器件,基本结构为“阴极/有机发光层/阳极/柔性基板”,其发光机理与普通玻璃基板的 OLED 相似。Gustafsson 等<sup>[1]</sup>首次利用 ITO/PET 当作柔性基板,制作出第一个高分子为主体的 FOLED。Gu 等<sup>[2]</sup>则制备了以小分子为主体、ITO/PET 为柔性基板的 FOLED。Wu 等<sup>[3]</sup>也报道了以铬金属为柔性基板的 FOLED。Park 等<sup>[4]</sup>在 2001 年以射频磁控溅射的方式在 PES 柔性基板上溅镀 100 nm 的 ITO 薄膜作为柔性电极。Auch 等<sup>[5]</sup>报道了涂有一层 cyclohexanone 的柔性超薄玻璃基板。Noda 等<sup>[6]</sup>以卷镀式(roll-to-roll)制程制作出 ITO/PET 柔性基板。Innocenzo 等<sup>[7]</sup>在 SID 2003 发表了可应用在可弯曲式显示器的 PEN 塑料基板的研究。Xie 等<sup>[8]</sup>使用涂有 SOG 薄膜的钢箔当作柔性基板,制作出上发光型

FOLED。Charton 等<sup>[9]</sup>在柔性基板上分别溅射了 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 层和有机/无机交替多层膜,得到了亮度与玻璃基板器件十分接近的 FOLED。Templier 等<sup>[10]</sup>制作出涂有 Poly-Silicon 的金属箔为柔性基板的主动式 OLED 显示器。但是,从理论上对 FOLED 进行光学特性分析,特别是与平整器件的光学特性进行比较,目前报道很少。

本文采用金属镜作为器件的电极,设计了结构为上反射镜/有机发光层/下反射镜/柔性基板的微腔结构的有机电致发光器件,利用几何光学模型及其原理,计算了在不同弯曲情况下,观测角和曲率对器件的发光光谱的影响,并与平整器件的光学特性进行了比较。

## 2 模 型

设计了微腔结构的有机电致发光器件,即“上反射镜/有机发光层/下反射镜/柔性基板”的 Fabry-Perot 腔结构。采用 Ag 镜作为器件的上、下反射镜,谐振光从器件的上反射镜出射。对于具有类似结构的平整器件光学特性的研究,已有相关的报道<sup>[11~16]</sup>。当器件弯曲时,不考虑弯曲对器件内部挤压带来的影响,器件的各层薄膜的

收稿日期: 2008-10-28; 修订日期: 2008-11-19

基金项目: 湖南省杰出青年科学基金(03JJY1008); 中国博士后科学基金(2004035083); 湖南省自然科学基金(05JJ20034); 中南大学科学基金(0601059)资助项目

作者简介: 熊志勇(1982-), 男, 湖北襄樊人, 主要从事有机发光器件方面的研究。

E-mail: xzy0201@126.com, Tel: (0731)8830857

\*: 通讯联系人; E-mail: lihj398@yahoo.com.cn, Tel: (0731)8830857

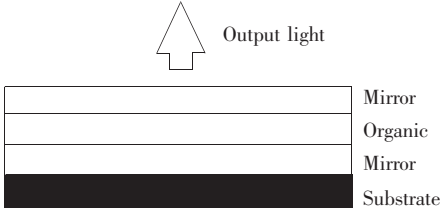


图 1 平整器件结构图,器件的阴极和阳极构成谐振腔  
Fig. 1 Structure of flat OLED. It has a resonant cavity between cathode and anode.

光学常数数值都不变,所以,我们仍然可以用微腔结构中的算式来分析可弯曲器件的发光特性。

在微腔结构的平整器件中,如图 1 所示,满足谐振条件的波长的光由于相涨干涉而得到加强,同时出现光谱变窄等特性,实际的光程长度由有机层厚度加上光在两个反射镜中的穿透深度组成<sup>[11]</sup>。即:

$$L = \frac{|\Phi_1|}{4\pi} \lambda + nd + \frac{|\Phi_2|}{4\pi} \lambda \quad (1)$$

式中, $L$  为器件实际的光程长度, $\lambda$  为谐振光的波长, $\Phi_1$ 、 $\Phi_2$  分别为光在两个 Ag 镜中的相移。

理论上,微腔 OLED 的光谱可通过对应 OLED 的光谱  $E_0$  得到<sup>[12]</sup>:

$$|E|^2 =$$

$$\frac{(1 - R_2) \left[ 1 + R_1 + 2(R_1)^{0.5} \cos\left(\frac{4\pi x}{\lambda}\right) \right]}{1 + R_1 R_2 - 2(R_1 R_2)^{0.5} \cos\left(\frac{4\pi L}{\lambda}\right)} |E_0|^2 \quad (2)$$

式中, $x$  为发光层到金属反射面的有效距离, $R_1$  和  $R_2$  分别为上反射镜和下反射镜的反射率; $E_0$  为自由空间的光谱(对应 OLED 的光谱)。理想器件中,发光中心位于有机层的中间,即  $x$  为有机层厚度的一半。

微腔结构的有机电致发光器件发光时都具有方向性,即发光谱随着观测角变化而变化的效应。由 Snell 折射定律,有:

$$n \sin \theta' = \sin \theta \quad (3)$$

式中, $n$  为介质的折射率, $\theta$  为观测角, $\theta'$  为内部出射角(光偏离轴线的角度)。文献[18,19]探讨了在平整器件中器件的发光光谱随观测角的变化特性。当器件弯曲时,存在两种情况,如图 2 所示:a. 基板向内弯曲;b. 基板向外弯曲。为研究可弯曲式器件发光光谱随观测角的变化情况,并与平

整器件比较,将两种器件的几何模型图对比,如图 3 所示,可知在同一观测角  $\theta$  情况下,两种器件的有效腔长(实际光程长度)不同。由于金属镜对微腔有效腔长的影响较小,所以两种器件的有效腔长可以近似为几何模型中器件的几何腔长(由于介质层对微腔有效腔长的影响较大<sup>[19]</sup>,如果是介质层做反射镜则需要做适当修整),分别为  $L$ 、 $L'$ 。

对于可弯曲式有机电致发光器件,若器件的弯曲度(曲率)为  $k$ ,有:

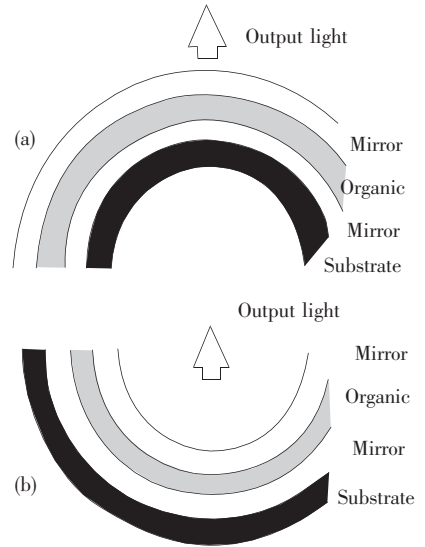


图 2 可弯曲式器件结构图(a)基板向内弯曲(b)基板向外弯曲  
Fig. 2 Structure of FOLED. (a) substrate was incurvated; (b) substrate was excurved.

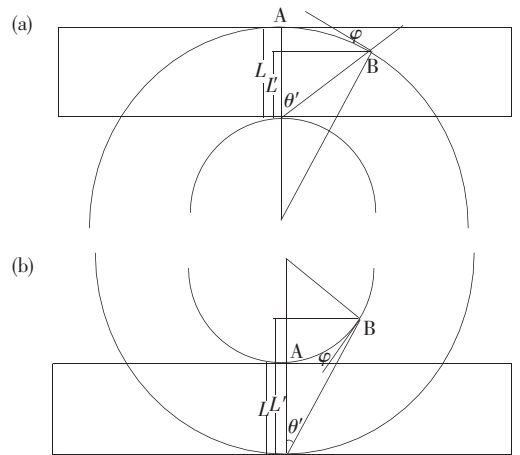


图 3 可弯曲式器件几何模型图(a)基板向内弯曲;(b)基板向外弯曲  
Fig. 3 Geometric model of FOLED. (a) substrate was incurvated; (b) substrate was excurved.

$$k = \frac{\varphi}{S} \quad (4)$$

式中,  $\varphi$  为 A、B 两点切线的夹角,  $S$  为 A、B 两点间的弧长。

当基板向内弯曲时, 有:

$$\frac{L}{\sin\left(\pi - \frac{\pi - \varphi}{2} - \theta'\right)} = \frac{L'}{\cos\theta'} \quad (5)$$

$$\frac{R}{\sin(\pi - \theta')} = \frac{R - L}{\sin(\theta' - \varphi)} \quad (6)$$

式中,  $R$  为曲率半径,  $L'$  为等效的光程长度,  $\theta'$  为内部出射角。

同时, 有:

$$S = R\varphi \quad (7)$$

最后, 得:

$$L' = \frac{\cos\frac{\varphi}{2}\cos\theta'}{\cos\left(\frac{\varphi}{2} - \theta'\right)}L \quad (8)$$

$$1 - kL = \frac{\sin(\theta' - \varphi)}{\sin\theta'} \quad (9)$$

当基板向外弯曲时, 有:

$$\frac{L}{\sin\left(2\pi - \frac{\pi + \varphi}{2} - \theta'\right)} = \frac{L'}{\cos\theta'} \quad (10)$$

$$\frac{R}{\sin\theta'} = \frac{R + L}{\sin(\theta' + \varphi)} \quad (11)$$

式中,  $R$  为曲率半径,  $L'$  为等效的光程长度,  $\theta'$  为内部出射角。

最后, 得:

$$L' = \frac{\cos\frac{\varphi}{2}\cos\theta'}{\cos\left(\frac{\varphi}{2} + \theta'\right)}L \quad (12)$$

$$1 + kL = \frac{\sin(\theta' + \varphi)}{\sin\theta'} \quad (13)$$

于是得到不同弯曲情况时, 器件的曲率  $k$ 、等效腔长  $L'$ , 以及观测角  $\theta$  之间的关系。

### 3 结果与讨论

在微腔器件中, 谐振光在腔内往返一周的相位改变是  $2\pi$  的整数倍, 或光程是波长的整数倍, 所以满足 Fabry-Perot 方程:

$$L\cos\theta' = \frac{m\lambda}{2} \quad (14)$$

式中,  $L$  为光在腔内的实际光程,  $m$  为正整数,  $\theta'$  为内部出射角。

根据式(3)与(14)可以计算出器件的谐振波长与外部观测角的关系。图4给出了平整器件在不同观测角度下的归一化发光光谱。在观测角  $\theta$  为  $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$  时, 器件的发光光谱峰值对应的波长分别为 624, 623, 619.5, 614, 606 nm。可以看出随着观测角的增大, 器件的发光光谱峰值的位置出现蓝移现象。而且发光光谱峰值强度逐渐增大。器件发光光谱峰值位置蓝移的幅度为: 观测角从  $0^\circ \sim 10^\circ$  (1 nm), 从  $0^\circ \sim 20^\circ$  (4.5 nm), 从  $0^\circ \sim 30^\circ$  (10 nm), 从  $0^\circ \sim 40^\circ$  (18 nm)。器件发光光谱峰值出现了蓝移现象, 这是由于当观测角增大时, 由式(3)、(14)可知,  $\cos\theta'$  减小, 因此  $L\cos\theta'$  的值要减小,  $\lambda$  随之减小, 向短波区移动。

实际上, 金属镜的反射相移会随着谐振波长的降低而减小, 由金属镜引入的穿透深度会随着谐振波长的蓝移而增加, 因此等效腔长也相应的增加, 这样就会减缓谐振波长的蓝移速度。在计算中, 因为金属镜对微腔有效腔长的影响较小, 假定了金属镜的反射相移不随波长的改变而改变。所以, 实际器件发光光谱峰值位置蓝移的幅度要比图4中的分析值略小<sup>[20,21]</sup>。

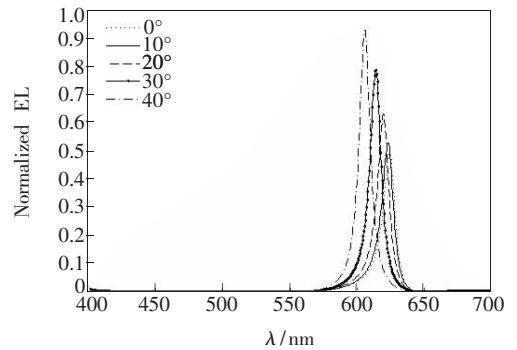


图4 平整器件发光光谱随观测角变化图。随着观测角的增大, 器件的发光光谱峰值发生蓝移。  
Fig.4 Normalized electroluminescence spectrum of the flat OLED. The peak value of the spectrum was blue shift as the viewing angle increasing.

当器件弯曲时, 相对于平整器件中的等效腔长  $L$ , 等效腔长变化为  $L'$ 。根据等效腔长  $L'$  与观测角  $\theta$  的关系, 以及谐振腔的基本公式, 可以计算出器件的谐振波长与外部观测角的关系。图5分别给出了基板向内弯曲和向外弯曲两种情况下(器

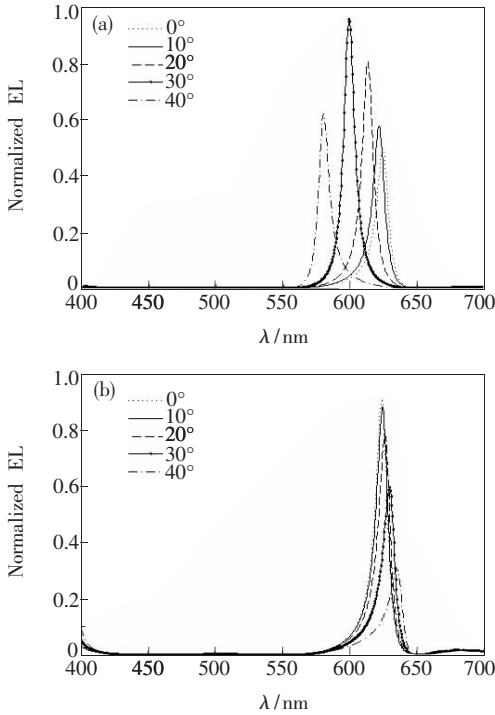


图 5 可弯曲式器件发光光谱随观测角变化图。(a)基板向内弯曲时,随着观测角的增大,器件的发光光谱峰值位置出现蓝移;(b)基板向外弯曲时,随着观测角的增大,器件的发光光谱峰值位置出现红移

Fig. 5 Normalized electroluminescence spectrum of the FOLED. (a) When substrate was incurvate, the peak value of the spectrum was blue shift as the viewing angle increasing; (b) When substrate was excurved, the peak value of the spectrum was red shift as the viewing angle increasing.

件曲率  $k$  均为  $2.9 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$  时) 器件在不同观测角度下的归一化发光光谱。

当基板向内弯曲,在观测角  $\theta$  为  $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$  时,器件的发光光谱峰值对应的波长分别为  $624, 621.5, 613, 599, 580 \text{ nm}$ 。可以看出随着观测角的增大,器件的发光光谱峰值的位置出现蓝移现象。发光光谱峰值先增大再减小。器件发光光谱峰值位置蓝移的幅度为:观测角从  $0^\circ \sim 10^\circ$  ( $2.5 \text{ nm}$ ),从  $0^\circ \sim 20^\circ$  ( $11 \text{ nm}$ ),从  $0^\circ \sim 30^\circ$  ( $25 \text{ nm}$ ),从  $0^\circ \sim 40^\circ$  ( $44 \text{ nm}$ )。器件发光光谱峰值出现了蓝移现象,这是由于当观测角增大时,由式(3)、(14)可知,  $\cos\theta'$  减小,等效腔长  $L'$  也减小,因此  $L'\cos\theta'$  的值减小,  $\lambda$  随之减小,向短波区移动。但是,这时弯曲器件发光光谱峰值位置蓝移的幅度相对平整器件来说明显变大了。这是由于观测角  $\theta$  增大,  $\cos\theta'$  值和等效腔长  $L'$  同时减小,

而平整器件中只有  $\cos\theta'$  值减小,所以会出现更大程度的蓝移现象。

当基板向外弯曲,在观测角  $\theta$  为  $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$  时,器件的发光光谱峰值对应的波长分别为  $624, 624.5, 626.5, 629.5, 635.5 \text{ nm}$ 。可以看出随着观测角的增大,器件的发光光谱峰值的位置出现红移现象。发光光谱峰值逐渐减小。器件发光光谱峰值位置红移的幅度为:观测角从  $0^\circ \sim 10^\circ$  ( $0.5 \text{ nm}$ ),从  $0^\circ \sim 20^\circ$  ( $2.5 \text{ nm}$ ),从  $0^\circ \sim 30^\circ$  ( $5.5 \text{ nm}$ ),从  $0^\circ \sim 40^\circ$  ( $11.5 \text{ nm}$ )。当观测角增大时,由式(3)、(14)可知,  $\cos\theta'$  减小,等效腔长  $L'$  增大,但器件发光光谱峰值出现了红移现象。我们可解释为:  $L'$  增大的倍数比  $L'$  减小的倍数大,因此  $L'\cos\theta'$  的值仍然增大,  $\lambda$  随之增大,向长波区移动。但是,这时弯曲器件发光光谱峰值位置红移的幅度不大。

图 6 分别给出了基板向内弯曲和向外弯曲两种情况下(观测角均为  $30^\circ$  时)器件在不同曲率下的归一化发光光谱。

当基板向内弯曲,在曲率  $k$  为  $1.4 \times 10^6, 1.9 \times 10^6, 2.4 \times 10^6, 2.9 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$  时,器件的发光光谱峰值对应的波长分别为  $606.5, 604, 601.5, 599 \text{ nm}$ 。可以看出随着曲率  $k$  的增大,器件的发光光谱峰值的位置出现蓝移现象。发光光谱峰值逐渐增大。器件发光光谱峰值位置蓝移的幅度为:曲率  $k$  从  $1.4 \times 10^6 \sim 1.9 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$  ( $2.5 \text{ nm}$ ),从  $1.4 \times 10^6 \sim 2.4 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$  ( $5 \text{ nm}$ ),从  $1.4 \times 10^6 \sim 2.9 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$  ( $7.5 \text{ nm}$ )。器件发光光谱峰值位置出现了蓝移现象,这是因为曲率  $k$  增大时,由式(8)、(9)可知,等效腔长  $L'$  减小,因此  $L'\cos\theta'$  的值减小,  $\lambda$  随之减小,向短波区移动。

当基板向外弯曲,在曲率  $k$  为  $1.4 \times 10^6, 1.9 \times 10^6, 2.4 \times 10^6, 2.9 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$  时,器件的发光光谱峰值对应的波长分别为  $621.5, 624, 627, 629.5 \text{ nm}$ 。可以看出随着曲率  $k$  的增大,器件的发光光谱峰值的位置出现红移现象。发光光谱峰值逐渐减小。器件发光光谱峰值位置红移的幅度为:曲率  $k$  从  $1.4 \times 10^6 \sim 1.9 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$  ( $2.5 \text{ nm}$ ),从  $1.4 \times 10^6 \sim 2.4 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$  ( $5.5 \text{ nm}$ ),从  $1.4 \times 10^6 \sim 2.9 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$  ( $8 \text{ nm}$ )。器件发光光谱峰值位置红移,这是由于曲率  $k$  增大时,由式(12)、(13)可知,等效腔长  $L'$  增大,因此  $L'\cos\theta'$  的值增大,  $\lambda$  随之增大,向长波区移动。同时发现,此时

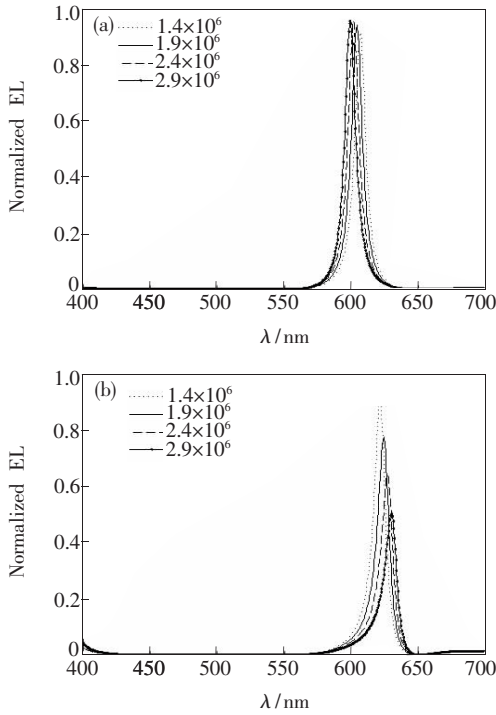


图6 可弯曲式器件发光光谱随曲率变化图。(a)基板向内弯曲时,随着曲率的增大,器件的发光光谱峰值位置出现蓝移;(b)基板向外弯曲时,随着曲率的增大,器件的发光光谱峰值位置出现红移

Fig. 6 Normalized electroluminescence spectrum of the FOLED. (a) When substrate was incurvated, the peak value of the spectrum was blue shift as the curvature increasing; (b) When substrate was excurved, the peak value of the spectrum was red shift as the curvature increasing.

发光光谱峰值位置红移的程度与基板向内弯曲时蓝移的程度相当。

在设计模型中,谐振光从上反射镜出射。当谐振光从下反射镜出射时,器件的发光特性与上发光型的分析计算类似。所以,本文的计算模型可以为微腔结构的可弯曲式有机电致发光器件研究作理论参考。同时,在 OLED 中,不论是上发光型或是下发光型器件,都存在程度不一的微腔效应,本文研究的结果也可为一般的 FOLED 发光光谱特性的研究提供思路。

## 4 结 论

当器件弯曲时,有机发光器件的光学特性会产生一定的变化。本文利用几何光学模型研究了结构为上反射镜/有机层/下反射镜/柔性基板的可弯曲式有机电致发光器件在不同弯曲情况下,其发光光谱随观测角和曲率的影响,并与平整器件的光谱作了比较。

基板向内弯曲时,随着观测角的增大,器件的发光光谱峰值位置出现蓝移,且蓝移的程度相对平整器件要大;发光光谱峰值先增大再减小。随着曲率的增大,器件的发光光谱峰值位置出现蓝移;发光光谱峰值逐渐增大。基板向外弯曲时,随着观测角的增大,器件的发光光谱峰值位置出现红移,但红移的程度不大;发光光谱峰值逐渐减小。随着曲率的增大,器件的发光光谱峰值位置出现红移,且与基板向内弯曲时蓝移的程度相当;发光光谱峰值逐渐减小。

## 参 考 文 献:

- [1] Gustafsson G, Cao Y, Treacy G M, *et al.* Flexible light-emitting diodes made from soluble conducting polymers [J]. *Nature*, 1992, **357**(6378):477-479.
- [2] Gu G, Burrows P E, Venkatesh S, *et al.* Vacuum-deposited, nonpolymeric flexible organic light-emitting devices [J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(3):172-174.
- [3] Wu C C, Theiss S D, Gu G, *et al.* Integration of organic LEDs and amorphous Si TFTs onto flexible and lightweight metal foil substrates [J]. *Elec. Dev. Lett.*, 1997, **18**(1):609-611.
- [4] Park S K, Han J I, Kim W K, *et al.* Deposition of indium-tin-oxide films on polymer substrates for application in plastic-based flat panel displays [J]. *Thin Solid Films*, 2001, **397**(1-2):49-55.
- [5] Auch M D, Soo O K, Ewald G, *et al.* Ultrathin glass for flexible OLED application [J]. *Thin Solid Films*, 2002, **417**(1-2):47-50.
- [6] Noda K, Sato H, Itaya H, *et al.* Characterization of Sn-doped film on roll-to-roll flexible plastic substrate prepared by DC magnetron sputtering [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2003, **42**(1):217-222.
- [7] Innocenzo J G, Wessel R A, O'Regan M, *et al.* Plastic displays-films for OLED light panels [J]. *J. SID'03*, 2003, **30**

(2):1329-1331.

- [ 8 ] Xie Z, Hung L S, Zhu F. A flexible top-emitting organic light-emitting diode on steel foil [J]. *Chem. Phys. Lett.*, 2003, **381**(5-6):691-696.
- [ 9 ] Charton C, Schiller N, Fahland M, *et al.* Development of high barrier films on flexible polymer substrates [J]. *Thin Solid Films*, 2006, **502**(1-2):99-103.
- [ 10 ] Templier F, Aventurier B, Demars P, *et al.* Fabrication of high performance low temperature poly-silicon backplanes on metal foil for flexible active-matrix organic light emission diode displays [J]. *Thin Solid Films*, 2007, **515**(19):7428-7432.
- [ 11 ] Dodabalapur A, Rothberg L J, Miller T M, *et al.* On the improvement of broadband stimulated brillouin scattering reflectors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**(1):19-21.
- [ 12 ] Dodabalapur A, Rothberg L J, Jordan R H, *et al.* Physics and applications of organic microcavity light emitting diodes [J]. *J. Appl. Phys.*, 1996, **80**(12):6954-6964.
- [ 13 ] Han S J, Huang C J, Lu Z H. Color tunable metal-cavity organic light-emitting diodes with fullerene layer [J]. *J. Appl. Phys.*, 2005, **97**(9):093102-1-5.
- [ 14 ] Cao Jin, Liu Xiang, Zhang Xiaobo, *et al.* Top-emitting organic light-emitting devices with cavity effect [J]. *Acta Phys. Sin.* (物理学报), 2007, **56**(2):1088-1092 (in Chinese).
- [ 15 ] Yan Lingling, Li Hongjian, Zhang Jianhua, *et al.* Electroluminescence spectra in microcavity organic light-emitting devices [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2007, **28**(2):173-178 (in English).
- [ 16 ] Zhang Chunyu, Liu Xingyuan, Tao Getao, *et al.* Optical properties of organic film in a coupled microcavity [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2007, **28**(3):349-353 (in Chinese).
- [ 17 ] Zhang Hongmei, You Han, Shi Jiawei, *et al.* Microcavity effects on emissive color and electroluminescent performance in organic light-emitting diodes [J]. *Synth. Metal.*, 2006, **156**:954-957.
- [ 18 ] Xie Zefeng, Yuan Yongbo, Chen Shuming, *et al.* Study on metal microcavity OLEDs with improved efficiency [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2008, **29**(1):37-40 (in Chinese).
- [ 19 ] Xiong Zuhong, Shi Huazhong, Fan Yongliang, *et al.* Enhanced chromaticity of organic electroluminescence from silicon-based organic microcavity [J]. *Acta Phys. Sin.* (物理学报), 2006, **52**(5):1222-1229 (in Chinese).
- [ 20 ] Lin C L, Lin H W, Wu C C. Examining microcavity organic light-emitting devices having two metal mirrors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, **87**(2):021101-1-3.
- [ 21 ] Peng H J, Sun J X, Zhu X L, *et al.* High-efficiency microcavity top-emitting organic light-emitting diodes using silver anode [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006, **88**(7):073517-1-3.

## Optical Characteristics of Flexible Microcavity Organic Light-emitting Diodes

XIONG Zhi-yong<sup>1</sup>, LI Hong-jian<sup>1,2</sup>, WANG Jun-xi<sup>1</sup>, ZHOU Zi-you<sup>1</sup>, YUAN Ming<sup>1</sup>, LI Xue-yong<sup>1,2</sup>

(1. College of Physics Science and Technology, Central South University, Changsha 410083, China;

2. College of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** The fabrication of flexible organic light-emitting devices (FOLED) is an important development direction in the next generation of display technology. Based on the geometrical optics model, the optical characteristics of our FOLED with a structure of top reflecting mirror/organic material/bottom reflecting mirror/flexible substrate were discussed. The influence of viewing angle and curvature on the performance of the EL spectrum was studied, the spectrum of FOLED and that of plane OLED were contrasted as well. It was found that:

1) When substrate was incurvate, the peak value of the spectrum was blue shift as the viewing angle increasing, and the extent was broader than that of plane OLED. The peak value of the spectrum was blue shift

as the curvature increasing;

2) When substrate was excurved, the peak value of the spectrum was red shift as the viewing angle increasing, but the extent was slight; the peak value of the spectrum was red shift as the curvature increasing, the extent was close approximately with that of plane OLED.

**Key words:** flexible organic light-emitting diodes; flexible substrate; viewing angle; curvature; electroluminescence

**CLC number:** TN383.1; TN873.3

**PACS:** 78.60.Fi

**PACC:** 7860F

**Document code:** A

Received date: 2008-10-28

## 欢迎订阅《光机电信息》(月刊)

本刊由中国光学学会、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所主办,科学出版社出版。

本刊征集光学和应用光学、光电子学和激光、微纳科技、材料科学、电磁学和电子学、机械、信息科学和技术等几大领域如下形式的文章:

### 1. 研究信息快报

本栏目主要报道最新研究成果、阶段新结果、片段新结果的介绍或说明,不要求是纯学术论文。目的是为那些尚未能形成正式研究论文,但希望把已有的最新研究成果、阶段或片段新结果抢先发表的科研工作者提供一个平台,保护广大科研人员的知识产权。主要内容包括研究背景简介、研究过程或实验过程简述、观察到的结果、数据及相关信息说明、评论等,附图表数据等,也可附参考文献(一般不要求)。本栏目发表的论文数据不影响在正式发表论文时使用。

本栏目出版周期:收稿日期为每月5日之后、25日之前收到,下月即出版发表。如为当月5号之前收到,当月发表。

### 2. 研究快报

本栏目主要征集研究新成果的快速报道,要求同其他刊物的研究快报。要求具有如下内容:摘要、关键词、研究背景(引言)、研究过程或实验过程、研究结果、参考文献。

### 3. 研究评论

对当前最新研究结果或研究动态的评论和展望,或基于他人研究结果的二次开发或更深层次的研究结果报道。

### 4. 综述文章

(1)综述本领域或本学科的研究成果和进展、发展动态和趋势;(2)作者本研究群体的研究工作综述。

### 5. 研究论文

征集研究新结果的学术论文。

### 6. 应用开发类论文

接受各类大学、研究所、企业自主研发的新产品性能报道和新应用报道;新型器件在系统应用结果方面的报道等。这类论文是反映企业研发创新和对自身产品的再认识的能力、并能够让用户更好地了解产品性能、拓展应用范围的手段。本栏目论文具有产品推广广告作用。

### 7. 成果信息和研发信息

本栏目主要为大学、研究所等研发部门发布研究成果信息或项目工程研发信息;企业需要开发或攻关的项目信息等。目的是为研发部门和企业之间架起沟通桥梁。

### 8. 各类形式的企业宣传、广告,具体来电来函商谈,本刊做各类宣传、广告,费用低廉。

“好酒也怕巷子深”——您的产品多一份广告就会多一份收益,低廉的费用可以节约销售人员的出差费用,而效费比高,广告范围广。

在我们这里刊登的广告哪怕只为您带来一个客户——您就收回了广告成本,同时也给您带来了久远的影响和效益。纸版的广告+电子版的广告——更值得客户信赖,更能为您培养潜在的中、远期客户。

网上投稿: E-mail: gjdxxw@gmail.com, xxfw@ciomp.ac.cn

学报地址:长春市东南湖大路3888号 邮编:130033