

文章编号: 1000-7032(2011)03-0290-03

# 基于 AZO 的高效率磷光有机电致发光

林 杰<sup>1,2</sup>, 范 翊<sup>1</sup>, 刘星元<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院 激发态物理重点实验室 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 采用离子辅助的电子束双源共蒸技术制备了 AZO 薄膜, 其载流子浓度和迁移率分别为  $4.39 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  和  $15 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 在可见光范围内的平均透过率达到 85.5%, 功函数为 5.05 eV。采用 AZO 作为阳极制备的磷光 OLED 得到最大亮度为  $192\,400 \text{ cd/m}^2$ , 最大电流效率为 83.5 cd/A。结果表明, AZO 作为 OLED 的阳极可获得优异的电致发光性能。

**关 键 词:** 透明导电薄膜; AZO; 磷光; 有机电致发光

**中图分类号:** TN383.1; TN873.3

**PACS:** 78.60.Fi

**PACC:** 7860F

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3788/fgxb20113203.0290

## 1 引 言

有机电致发光器件(OLED)一般采用透明导电氧化物(TCO)薄膜作为阳极<sup>[1-6]</sup>。当前商品化的 TCO 薄膜是 ITO<sup>[7]</sup>。绝大多数有机空穴传输材料的最高被占分子轨道(HOMO)能级都高于 5.0 eV, 而 ITO 的功函数较低(4.5~4.7 eV), 因而以 ITO 为阳极的 OLED 的空穴注入势垒较大, 不利于在器件内部形成平衡的载流子注入<sup>[8]</sup>。此外, ITO 薄膜中的金属 In 是稀有金属, 储量有限。因此, 开发其它具有优良光电性能的 TCO 薄膜一直是人们关注的热点。近十几年来, Al 掺 ZnO(AZO)薄膜由于具有价格低廉、无毒性、光电性能接近 ITO 等优点而受到广泛重视<sup>[9-10]</sup>。已报导的 AZO 薄膜一般采用磁控溅射等方法制备, 源材料通常采用金属 Al 和 ZnO 材料, 其功函数和 ITO 相当, 约为 4.6 eV。显然, 将 AZO 用于 OLED 中同样存在空穴注入势垒较大的问题。

本文首次采用离子辅助的电子束双源共蒸发技术制备了 AZO 薄膜, 源材料为  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和 ZnO, 均为氧化物材料。我们发现这种方法制备的 AZO 具有较高的功函数(5.05 eV), 在以其为阳极的磷光 OLED 中获得了优异的电致发光性能。

## 2 实 验

源材料 ZnO (5N) 与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (5N) 被置于铜坩埚中。制备薄膜的衬底为石英玻璃。首先将腔体抽至本底真空度为  $1 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ , 然后通入氧气与氩气, 流速分别为  $8.0, 1.0 \text{ cm}^3/\text{min}$ , 然后通过压控仪调节腔体的真空度并使之维持在  $2 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ 。末端离子源的电压为 150 V, 电流为 13 mA。氧化锌与氧化铝相对应的电子枪加速电压均为 8 kV, 束流分别为 43, 136 mA。薄膜的沉积速率及厚度通过 MDC-360C 膜厚仪进行实时监控。所制备的 AZO 薄膜厚约 100 nm。OLED 器件的结构为 Glass/AZO/ $\text{WO}_3$  (1 nm)/TeTa (20 nm)/CBP: Ir(ppy)<sub>3</sub> (6%) (36 nm)/TPBI (35 nm)/LiF (1 nm)/Al (150 nm), 其中以常见的发绿光的磷光材料 Ir(ppy)<sub>3</sub> 为发光中心。蒸镀各有机层时的工作真空为  $5 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ , 沉积速率为  $0.1 \sim 0.3 \text{ nm/s}$ 。薄膜的载流子浓度、电导率、载流子迁移率通过霍尔效应测量。紫外-可见-近红外透过率通过 Shimadzu UV-3101PC 分光光度计测量。薄膜的表面形貌、成分通过 Hitachi S-4800 扫描电镜和 GENE SIS2000 XMS 60S (EDAX Inc.) 测量。OLED 器件的电流密度-电压-亮度通过 Keithley

收稿日期: 2010-10-25; 修订日期: 2010-12-24

基金项目: 吉林省科技发展重点项目(20090346)资助

作者简介: 林杰(1981-), 男, 河南南阳人, 博士研究生, 主要从事有机半导体光电子技术的研究。

E-mail: linjie137@163.com

\*: 通讯联系人; E-mail: liuxy@ciomp.ac.cn, Tel: (0431) 86176341

2400 数字源表与 PR705 光谱扫描色度计测量。所有测量均在室温和空气中完成。

### 3 结果与讨论

图 1 和图 2 分别为 AZO 薄膜的扫描电镜图像和 XRD 谱,表明 AZO 薄膜具有较为均匀的多晶微观结构。样品在  $2\theta = 34.58^\circ$  处出现了一个明显的衍射峰,对应 ZnO 的 (002) 衍射峰位置。EDX 的分析结果显示,样品中 Zn 的质量分数为 95.1%,Al 的质量分数为 4.9%。通过霍尔效应测量得到 AZO 薄膜的载流子浓度为  $4.39 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ,电子迁移率为  $15 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,电阻率为  $9.48 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 。利用开尔文探针测试得到 AZO 样品的功函数为 5.05 eV。由图 3 可知,AZO 薄膜的最大光谱透过率为 89.5%,可见光范围内(400~700 nm)的平均透过率达到 85.5%。所制备的磷光 OLED 的启亮电压为 2.58 V。图 4 为 OLED 的亮度-电流密度-电流效率关系曲线图。基于 AZO 阳极的绿色磷光 OLED 在电流密

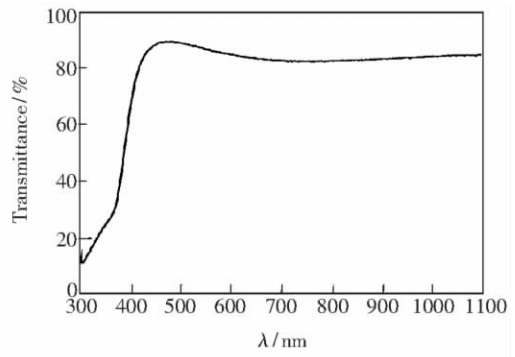


图3 AZO 薄膜的透射光谱

Fig.3 The transmittance spectrum of AZO film

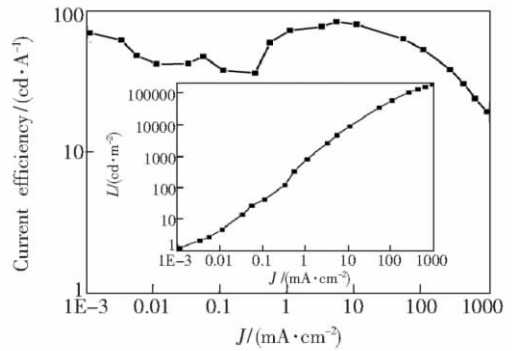


图4 OLED 器件的亮度和电流效率随电流密度的变化  
Fig.4 The dependence of luminance and current efficiency on current density of OLED

度接近  $1000 \text{ mA/cm}^2$  时得到最大亮度  $192400 \text{ cd/m}^2$  在  $5 \text{ mA/cm}^2$  处得到最大电流效率为  $83.5 \text{ cd/A}$  (亮度为  $4641 \text{ cd/m}^2$ )。当亮度分别为  $8926, 59040, 106900 \text{ cd/m}^2$  时,磷光 OLED 的电流效率分别为  $80, 53, 38.5 \text{ cd/A}$ 。结果表明,所制备的 AZO 薄膜具有良好的载流子注入能力,作为 OLED 的阳极可获得优异的电致发光性能。

### 4 结 论

以 ZnO 与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  为源材料,采用离子辅助的电子束双源共蒸发技术制备了 AZO 薄膜。该薄膜具有均匀的多晶表面形貌,电阻率为  $9.48 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ,表面功函数为 5.05 eV。采用 AZO 作为阳极制作的磷光 OLED 可获得最大亮度为  $192400 \text{ cd/m}^2$ ,最大电流效率为  $83.5 \text{ cd/A}$ 。结果表明,电子束蒸发制备的 AZO 薄膜具有良好的光电特性,作为 OLED 阳极可获得优异的电致发光性能。

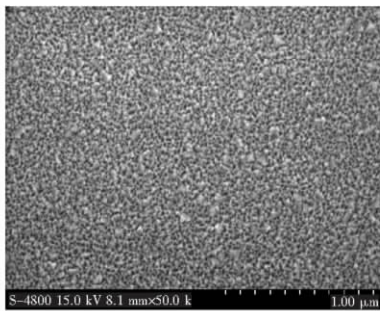


图1 AZO 薄膜的扫描电镜图像  
Fig.1 SEM image of AZO film

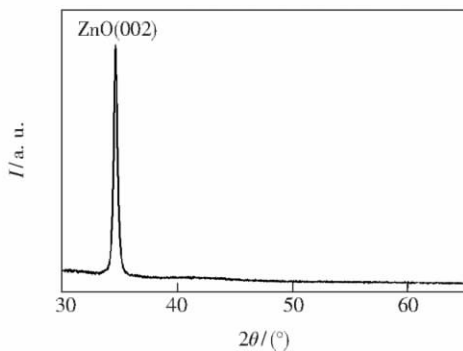


图2 AZO 薄膜的 XRD 谱  
Fig.2 XRD pattern of AZO film

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] Lewis B G , Paine D C. Applications and processing of transparent conducting oxides [J]. *MRS Bulletin* ,2000 ,**25**( 8) : 22-27.
- [ 2 ] Dawar A L , Joshi J C. Semiconducting transparent thin films: their properties and applications [J]. *Mater. Sci.* ,1984 , **19**( 1) : 1-23.
- [ 3 ] Jia Yong , Deng Zhenbo , Xiao Jing , *et al.* The effect of PBD as electron transporting layer in Alq<sub>3</sub>: DCJTb organic light emitting devices [J]. *Chin. J. Lumin.* ( 发光学报) ,2008 ,**29**( 1) : 23-26 ( in Chinese) .
- [ 4 ] Chen Wei , Rao Haibo , Jiang Quan , *et al.* Effect of p-type acceptor-like trap on the charge carrier transportation of OLEDs [J]. *Chin. J. Lumin.* ( 发光学报) ,2009 ,**30**( 1) : 51-54 ( in Chinese) .
- [ 5 ] Xiong Zhiyong , Li Hongjian , Wang Junxi , *et al.* Optical characteristics of flexible microcavity organic light-emitting diodes [J]. *Chin. J. Lumin.* ( 发光学报) ,2009 ,**30**( 3) : 337-343 ( in Chinese) .
- [ 6 ] Yang Shaopeng , Wang Lishun , Qiu Xiaoli , *et al.* Organic red electroluminescence devices based on PVK with high color purity and high stability [J]. *Chin. J. Lumin.* ( 发光学报) ,2009 ,**30**( 6) : 728-733 ( in Chinese) .
- [ 7 ] Wang Y , Yan Y , Shen M , *et al.* Advances in transparent conducting thin films [J]. *Materials Review* ( 材料导报) , 2006 ,**20**( z1) : 317-319 ( in Chinese) .
- [ 8 ] Kim S , Seo H , Kim Y , *et al.* Surface characteristics of indium-tin oxide cleaned by remote plasma [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.* ,2005 ,**44**( 2) : 1041-1044.
- [ 9 ] Minami T. Transparent conducting oxide semiconductors for transparent electrodes [J]. *Semicond. Sci. Technol.* ,2005 , **20**( 4) : S35-S44.
- [ 10 ] Zhang Y , Yin H , Huang J , *et al.* Recent progress in transparent and conducting films [J]. *OME Information* ( 光机电信息) ,2006 ,**23**( 2) : 56-60 ( in Chinese) .

## High Efficient Phosphorescent Organic Electroluminescence Based on Al Doped ZnO Anode

LIN Jie<sup>1,2</sup> , FAN Yi<sup>1</sup> , LIU Xing-yuan<sup>1</sup>

( 1. Laboratory of Excited State Processes , Changchun Institute of Optics , Fine Mechanics and Physics ,  
Chinese Academy of Sciences , Changchun 130033 , China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100039 , China)

**Abstract:** Al doped ZnO ( AZO) thin film is prepared by the double electron beam co-evaporation with an ion-assisted deposition technique. The AZO film shows a carrier density of  $4.39 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  and an electron mobility of  $15 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  , respectively. The AZO thin film has a work function of 5.05 eV , and shows an average visible spectral transmittance of 85.5% . OLED based on AZO anode exhibits a maximum luminance of 192 400 cd/m<sup>2</sup> and a maximum current efficiency of 83.5 cd/A , which indicates that AZO films can be a promising anode material for organic EL devices.

**Key words:** transparent conducting oxide; AZO; phosphorescent; organic light-emitting device

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

**PACS:** 78.60.Fi

**PACC:** 7860F

**Document code:** A

**DOI:** 10.3788/fgxb20113203.0290