

文章编号:1007-2780(2012)01-0043-04

多层氧化物复合阴极透明 OLED 器件

梁田静, 张方辉*, 丁磊

(陕西科技大学 电气与信息工程学院, 陕西, 西安 710021, E-mail: kaixin.424@qq.com)

摘 要: 制备了一种采用多层氧化物复合阴极的透明 OLED, 器件结构为: ITO/ MoO₃ (10 nm) /NPB(60 nm)/Alq₃ (65 nm)/ Al(1 nm)/ MoO₃ (1 nm)/Al(X nm) /MoO₃ (30 nm)。所采用的复合阴极结构为 MoO₃/Al/ MoO₃ (MAM), 同时在复合阴极(MAM)与电子传输层(Alq₃)中间插入一层厚度为 1 nm 的 Al 中间层, 该薄 Al 层一方面提高了电极与有机层间界面的平整度, 同时增强了电极的导电性; 另一方面, 在电子传输层与中间层 Al 薄膜之间形成了良好的欧姆接触, 提高了电子的注入能力。改变 MAM 结构中 Al 的厚度, 获得该透明 OLEDs 的最佳性能, 在 Al 的厚度为 18 nm 时器件亮度最高, 为 2 297 cd/cm²。

关 键 词: 有机电致发光器件; 复合阴极; 透明 OLED; 欧姆指触

中图分类号: TN383+.1 文献标识码: A DOI: 10.3788/YJYXS20122701.0043

Transparent Organic Light Emitting Diodes Using a Multilayer Oxide as a Composite Cathode

LIANG Tian-jing, ZHANG Fang-hai*, DING Lei

(School of Electric and Information Engineering, Shaanxi University of Science and Technology,
Xi'an 710021, China, E-mail: kaixin.424@qq.com)

Abstract: Transparent organic light emitting diodes are developed by using a multilayer oxide as a composite cathode. The device structure is ITO/ MoO₃ (10 nm)/NPB(60 nm)/Alq₃ (65 nm)/Al(1 nm)/MoO₃ (1 nm)/Al(X nm) /MoO₃ (30 nm). The composite cathode is MoO₃/Al/MoO₃ (MAM). A thin Al layer (1 nm) was introduced as an interlayer between the Alq₃ electron transport layer and the MAM electrode. On the one hand, the thin Al layer improves the interface flatness between electrode and organic layers, while improving the conductivity of the electrode. On the other hand, electron injection was greatly improved by forming an Ohmic contact between the electron transport layer and a thin Al layer. Then the OLEDs optimum performance is obtained by changing the thickness of Al in MAM. With the Al thickness of 18 nm, the highest brightness 2 297cd/cm² is obtained.

Key words: OLEDs; composite cathode; transparent OLED; Ohmic contact

1 引 言

透明有机电致发光二极管(Transparent Or-

ganic Light-Emitting Diodes, TOLEDs)是有机发光领域中的一个热门方向,因为它不但可以同时从阳极和阴极两面发光,而且含有一定程度的穿

收稿日期: 2011-08-10; 修订日期: 2011-09-06

基金项目: 国家自然科学基金(No. 61076066); 陕西科技大学博士基金(No. BJ09-07); 陕西科技大学自然科学基金(No. ZX09-31)

作者简介: 梁田静(1987-), 女, 陕西渭南人, 硕士研究生, 主要从事平板显示方面的研究。

* 通讯联系人, E-mail: zhangfanghui@sust.edu.cn

透性,可显示画面后方的背景,可适用于建筑与车辆窗户、商店橱窗及眼镜等^[1],具有广泛的应用前景。与普通 OLEDs 相比,TOLEDs 的最大不同之处在于器件的阴极和阳极都采用具有高透过率的导电薄膜。ITO 由于具有电阻率低、化学稳定性高、在可见光波段透明等特点^[2],被广泛用于透明电极。ITO 作为器件的阴极,虽然可以获得不错的器件性能,但是 ITO 溅镀过程中容易产生溅镀损害,破坏有机薄膜^[3]。为了寻求合适的阴极结构,科研人员对 TOLEDs 的阴极进行了积极的探索,取得了一些进展。以 Sr/Ag^[4]、Ca/Ag^[5]、Ba/Ag^[6] 等双分子层结构作为透明阴极的器件具有较好的电子注入性能,在可见光区透过率可以达到 60% 以上。然而,双分子层越薄电阻率越高。最近,很多报道提出了电介质/金属/电介质(DMD)结构的复合透明电极,如 ITO/Au/ITO^[7] 透明阴极结构,具有很低的电阻率,而且在可见光区的平均透过率可达 72%。也有人提出 ITO/Pt/ITO^[8]、ZnO/Cu/ZnO^[9]、Ca/Al^[10] 等透明阴极结构,都表现出了不错的性能。

本文主要工作是在 DMD 结构的基础上,设计出了 MoO₃/Al/MoO₃ (MAM) 结构的复合阴极,而且在 MAM 与 Alq₃ 之间插入一层很薄的金属 Al 层作为电子注入结构。结果表明:加入 1 nm Al 膜后大大提高了器件的性能。同时在此基础上改变 MAM 电极结构中的 Al 的厚度,使该 TOLEDs 获得最佳性能。

2 实 验

实验中所制备的全透明 OLED 结构为:

ITO/MoO₃ (10 nm)/NPB(60 nm)/Alq₃ (65 nm)/Al(1 nm)/MoO₃ (1 nm)/Al(X nm)/MoO₃ (30 nm),其中 Al 的厚度 X 分别为 12 nm, 15 nm, 18 nm, 20 nm。

同时设计了不加 1 nm Al 膜的器件结构为参考器件:ITO/MoO₃ (10 nm)/NPB(60 nm)/Alq₃ (65 nm)/MoO₃ (1 nm)/Al(18 nm)/MoO₃ (30 nm)。

2.1 器件制备

本实验所涉及的材料来源为:ITO 玻璃购于深圳南玻集团,MoO₃ 购于 Sigma-Aldrich 公司,NPB 购于吉林奥来德光电材料股份有限公司,Alq₃ 购于西安瑞联近代电子材料有限责任公司。

将 ITO 玻璃衬底用清洁剂清洗,再用丙酮、

乙醇各超声清洗 15 min 左右,然后用纯净水冲洗,将冲洗完的 ITO 玻璃用氮气枪吹干。将处理过的玻璃基板首先置于预处理室进行等离子轰击 15 min;接着用机械手传递至主真空腔体内,待真空度抽到 8×10^{-4} Pa 左右后依次进行蒸镀。镀膜机采用沈阳真空研究所研制的 OLED-V 型有机多功能成膜设备。

2.2 器件性能表征

采用美国吉时利(Keithley)生产的可编程电流-电压源 Keithley Source 2400 和美国生产的光谱扫描光度计 PR655 构成的测试系统对器件的亮度-电流-电压特性、色坐标及电致发光光谱进行测量。该 OLED 的发光面积约为 0.79 cm²,且器件制备完成后没有进行封装处理,整个测试过程都在室温大气环境下进行。

3 结果与讨论

由实验结果可知,在没有加入 Al 中间层时器件是不亮的,而加了 Al 中间层之后,器件的最高亮度可以达到 2 297 cd/cm²,远远高于不加 Al 中间层时的亮度。一般来说,器件亮度的高低取决于电流密度的大小与复合效率的高低^[10],提高器件的电流密度和复合效率可以进一步提高器件的亮度。加了 Al 中间层的 MAM 结构的器件亮度有了很大提高,是因为加了 Al 中间层之后器件的电流密度大大增加。

图 1 所示为所设计器件与参考器件的电流密度-电压曲线。由图 1 可知在相同驱动电压下,加入 1 nm Al 作为中间层的器件的电流密度远大于参考器件。这可能是由于:一方面加入中间层后提高了电极与有机层间界面的平整度,同时增强

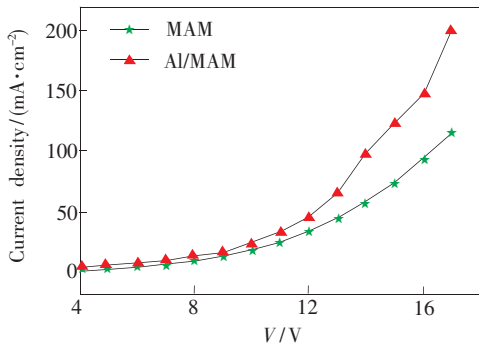


图 1 基于 MAM 阴极的 TOLED 电流密度-电压曲线
Fig. 1 Current density-voltage curves of TOLEDs with MAM cathode

了电极的导电性;另一方面当增加一层薄 Al 之后,在电子传输层与中间层(Al 薄膜)之间形成了良好的欧姆接触^[11],提高了电子的注入能力。因此,在有机层与 MAM 电极之间加入一层薄 Al 作为中间层后,可以有效地提高器件的载流子注入能力。

接着对加入中间层 Al 薄膜的器件结构进行优化设计,通过对 MAM 中金属 Al 电极的厚度进行改变,来获得该 TOLED 的最佳性能。

图 2(a)和(b)所示分别为该器件的 J - V 和 L - V 特性曲线。在 MAM 复合阴极结构中,分析了不同厚度的 Al(分别为 12 nm,15 nm,18 nm,20 nm)对器件性能的影响。图 2(a)所示为该器件的 J - V 特性曲线,由图 2(a)可知在相同驱动电压下,随着 Al 层厚度的增加,器件的电流密度逐渐增大。在相同电压下,20 nm Al 器件具有最大的电流密度。由图 2(b)可知随着 Al 层厚度的增加,器件的亮度逐渐增强。但是当 Al 厚度为 20 nm 时器件亮度开始降低,这可能是由于随着 Al 膜厚度的增加,器件的透过率逐渐下降从而影响了器件的出光率。最优的 Al 膜厚度为 18 nm,

此时的器件达到最高亮度为 2 297 cd/cm²。

图 3 所示为 MAM 阴极结构中不同厚度 Al 膜在 13 V 驱动电压下的电致发光光谱。由图 3 可知,4 种不同厚度的 Al 膜器件,其发光峰值均为 525 nm,说明该器件的电致发光光谱并不随 Al 厚度的改变而改变,具有很好的色稳定性。

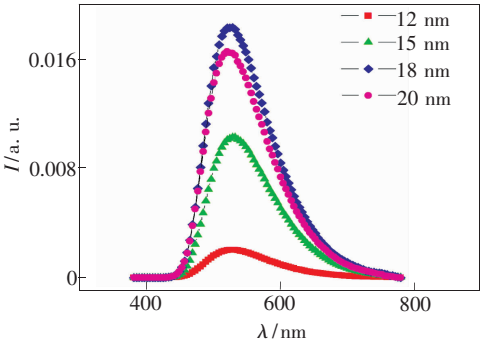


图 3 不同 Al 厚度下器件的光谱图

Fig. 3 EL spectra of device with different thickness of Al

图 4 所示为本实验制备的绿光 TOLED 器件的阳极和阴极出光面照片。由图 4 可知绿光可以很容易从两电极面出光,阳极图片为 ITO 电极的出光面,阴极图片为 Al/MAM 电极的出光面,并且两电极均具有较高的透过率。



阳极



阴极

图 4 Al/MAM 电极的 TOLED 照片

Fig. 4 Photographs of the TOLED with the Al/MAM electrode

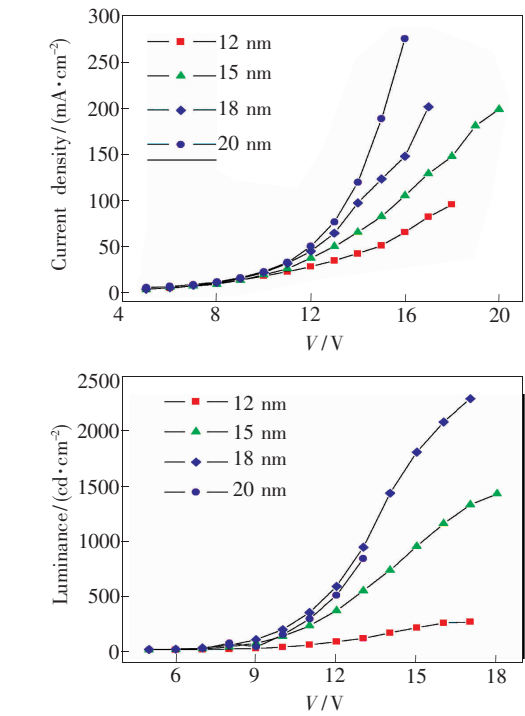


图 2 (a)电流密度-电压曲线;(b)亮度-电压曲线。

Fig. 2 (a) Current density-voltage curves; (b) Luminance-voltage curves.

4 结 论

在传统 DMD 结构中加入 1 nm Al 作为有机层和电极的中间层,很好地提高了器件性能。通过优化 MoO₃/Al/ MoO₃ 结构中 Al 膜的厚度,当

Al 的厚度为 18 nm 时器件获得最高亮度和最大发光效率,分别为 2 297 cd/cm² 和 1.47 cd/A。本文设计的器件结构未进行任何掺杂,后期工作将在本实验结构的基础上进行一系列掺杂来提高器件载流子注入能力。

参 考 文 献:

[1] Lai L S, Chan M Y, Fung M K, *et al.* Applications of ytterbium in organic light-emitting devices as high performance and transparent electrodes[J]. *Chem. Phys. Lett.* , 2002, 366(1-2):128-133.

[2] 李红霞,刘宏,王继扬,等. 氧化物透明导电膜的研究进展[J]. 功能材料, 2004, 35(z1):1091-1093.

[3] 熊祖洪,史华忠,樊永良,等. 电致发光色纯度性增强的硅基有机微腔[J]. 物理学报, 2003, 52(5):1222-1229.

[4] Kim S Y, Moon D G, Lee C J. Sr/Ag semitransparent cathodes for top emission organic light-emitting devices [J]. *Thin Solid Films* , 2009, 517(6): 2035-2038.

[5] Lee C J, Pode R B, Han J I, *et al.* Red electrophosphorescent top emission organic light-emitting device With Ca/Ag semitransparent cathode [J]. *Appl. Phys. Lett.* , 2006, 89(25):253508(1-3).

[6] Lee C J, Pode R B, Han J I, *et al.* Green top-emitting organic light-emitting device with transparent Ba/Ag bilayer cathode [J]. *Appl. Phys. Lett.* , 2006, 89(12):12350(1-3).

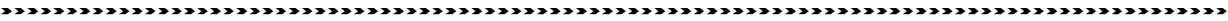
[7] Daeil Kim. Low temperature deposition of transparent conducting ITO/Au/ITO films by reactive magnetron sputtering [J]. *Appl. Surface Science* , 2010, 256(6):1774-1777.

[8] Choi J I, Lee J Y, Park J H, *et al.* Fabrication and characterization of Pt intermediate transparent and conducting ITO/Pt/ITO multilayer films [J]. *J. Phys. and Chem. of Solids* , 2009,70(2):272-275.

[9] Sahu D R, Huang Jow-Lay. The properties of ZnO/Cu/ZnO multilayer films before and after annealing in the different atmosphere[J]. *Thin Solid Films* , 2007, 516(2-4):208-211.

[10] 席俭飞,张方辉,马颖,等. 钙铝合金作为阴极对 OLED 器件性能的影响[J]. 液晶与显示,2010,25(3):355-359.

[11] Yook Kyoung Soo, Jeon Soon Ok, Joo Chul Woong,*et al.* Transparent organic light-emitting diodes using a multi-layer oxide as a low resistance transparent cathode[J]. *Appl. Phys. Lett.* , 2008, 93(1),013301(1-3).



《液晶与显示》关于作者署名的通告

针对目前论文署名比较随便,论文作者要求增减合著者或改变排名顺序的情况时有发生,本刊编辑部特提请文章作者注意:论文署名是一件十分严肃的事情。在论文上署名的作者应为参与论文撰写或对论文所涉及的研究工作有贡献的人,所有署名作者均应对文章内容负责。凡合著的文章,投稿前应仔细斟酌,考虑周全,并征得所有合作者的同意,同时应写明联系人。署名及排序在投稿后确实需要改变时,应由联系人向编辑部出示有关合著者同意并签名(盖章)的函件。否则,编辑部有权拒绝其要求。

《液晶与显示》编辑部