

文章编号:1007-2780(2012)03-0308-05

利用有机覆盖层提高 OLED 出光效率

李艳菲¹, 张方辉^{2*}, 牟曦媛¹, 杜红兵³

(1. 陕西科技大学 电气与信息工程学院, 陕西 西安 710021, E-mail: liyanfei20052008@163.com;
2. 西安平板显示中心, 陕西 西安 710021; 3. 63880 部队, 河南 洛阳 471003)

摘 要: 将 Alq 作为覆盖层真空蒸镀到玻璃基板后制作底发射有机电致发光器件(OLED), 所制备的器件结构为: Glass/Alq(x nm)/Al(15 nm)/MoO₃(30 nm)/NPB(60 nm)/Alq(65 nm)/LiF(1 nm)/Al(150 nm)。通过研究器件光辐射特性曲线, 可以看出覆盖层厚度的变化引起光的干涉效应的变化是导致电致发光变化的原因, 广角干涉和多光束干涉之间的相互作用可以通过覆盖层的厚度来调节, 并且半透明的 Al 膜做阳极, 将覆盖层蒸镀到阳极之外玻璃基板上, 半透明的铝膜和覆盖层与阴极组成微腔器件, 通过改变覆盖层的厚度调节微腔的腔长, 使 OLED 电致发光光谱的中心波长发生红移。

关 键 词: OLED; 覆盖层; 干涉; 微腔

中图分类号: O753.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20122703.0308

Improved Light Out-Coupling in Organic Light Emitting Diodes Employing Organic Capping Layer

LI Yan-fei¹, ZHANG Fang-hui^{2*}, MU Xi-yuan¹, DU Hong-bing³

(1. School of Electrical and Information Engineering, Shaanxi University of Science and Technology,
Xi'an 710021, China, E-mail: liyanfei20052008@163.com;

2. Shaanxi Panel Display Engineering Center, Xi'an 710021, China; 3. 63880 Troop, Luoyang 471003, China)

Abstract: A bottom emitting organic light-emitting devices was fabricated by depositing Alq as capping layer to the glass substrate. The device structure were Glass/Alq(x nm)/Al(15 nm)/MoO₃(30 nm)/NPB(60 nm)/Alq(65 nm)/LiF(1 nm)/Al(150 nm). By studying the radiation characteristics of the devices, it was found that the variation of the EL emission due to the capping layer can be entirely accounted for a change in optical interference effects. The complex interplay between wide-angle and multiple-beam interference can be controlled via the optical thickness of the dielectric capping layer on top of the cathode. Semitransparent Al film was anode. The capping layer deposited to the glass substrate formed microcavity devices with cathode. By changing the thickness of capping layer to adjust the microcavity length, the center wavelength EL spectra of OLED was red-shifted.

Key words: OLED; capping layer; interference; microcavity

收稿日期: 2012-01-25; 修订日期: 2012-02-24

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

作者简介: 李艳菲(1987—), 女, 河北唐山人, 硕士研究生, 主要从事平板显示技术方面的研究。

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

1 引 言

有机电致发光 (Organic Light Emission Diode,LED),具有高亮度、材料选择范围宽、驱动电压低、全固化主动发光等特性,同时拥有高清晰、广视角,以及可顺畅显示动画的高速响应等优势,是最近十几年热门研究领域^[1-2]。

由于 OLED 的外量子效率与内量子效率之间存在巨大差距,极大地制约了 OLED 的发展。因此,如何提高 OLED 的光取出效率成为研究的热点。ITO 薄膜和玻璃衬底的界面以及玻璃衬底和空气的界面处会发生全反射,出射到 OLED 器件前向外部空间的光约占有机材料薄膜 EL 总量的 20%,其余约 80%的光主要以导波形式限制在有机材料薄膜、ITO 薄膜和玻璃衬底中。可见常规 OLED 器件的出光效率较低(约为 20%),这严重制约了 OLED 的发展和应用。如何减少 OLED 器件中的全反射效应、提高光耦合到器件前向外部空间的比例(出光效率)引起人们的广泛关注^[3-4]。

目前,实现提高 OLED 外量子效率的一类重要方法是在基底出光表面形成如褶皱^[5]、光子晶体^[6]、微透镜阵列(MLA)^[7]和添加表面覆盖层等结构^[8-10]。前两种结构会影响 OLED 的辐射光谱角度分布,第三种结构制作工艺复杂,而使用表面覆盖层工艺简单,发光效率提高 30%以上,尤为人们所关注。本文用 Alq 作为表面覆盖层,通过改变 Alq 的厚度,研究其对 OLED 器件出光的影响。

2 实 验

本研究中所制备的器件结构为 glass/Alq/Al/MoO₃/NPB/ALq/LiF/Al,如图 1 所示。分别对器件的电流特性电压、亮度电压特性、发光效率电流密度特性及发光光谱特性进行了测试与讨论。这里 Alq 作为覆盖层,MoO₃ 是空穴注入层,NPB 是空穴传输层,Alq₃ 兼作发光层和电子传输层,LiF 是电子注入层。

2.1 基板处理

专用玻璃基板先用清洗剂反复清洗,然后依次用丙酮、酒精和去离子水超声清洗,烘干后,装载入真空室内。在真空度为 10 Pa 的条件下,用 O₂ 的混合气体对导电玻璃进行等离子体处理,然后在高真空腔体中通过机器人将其传送至有机腔

体进行有机材料热蒸镀。

2.2 功能薄膜层制备

在有机腔体中,将所用有机材料分别放在温度可以单独控制的不同蒸发源(石英坩埚)中,按设计的结构分别生长不同的有机材料。系统的真空度维持在 2×10^{-4} Pa 左右,相继蒸镀覆盖层(Alq)、阳极(Al,15 nm)、HIL(MoO₃,30 nm)、HTL(NPB,100 nm)、EL (Alq, 65 nm)、EIL (LiF,1 nm),最后蒸镀阴极(Al,150 nm)。有机材料蒸镀过程中采用石英晶振实现有机薄膜蒸发速率和厚度的精确控制,精度为 5%时,蒸发速率约为 0.1~0.3 nm/s;金属电极蒸镀速率为 0.5 nm/s,蒸镀速率用石英晶振实时监测。

本实验的器件结构如下:

(A) Glass/Alq (0 nm)/Al (15 nm)/MoO₃ (30 nm)NPB(60 nm)/Alq(65 nm)/LiF(1 nm)/Al(150 nm)。

(B) Glass/Alq (20 nm)/Al (15 nm)/MoO₃ (30 nm)/NPB(60 nm)/Alq(65 nm)/LiF(1 nm)/Al (150 nm)。

(C) Glass/Alq (30 nm)/Al (15 nm)/MoO₃ (30 nm)/NPB(60 nm)/Alq(65 nm)/LiF (1 nm)/Al(150 nm)。

(D) Glass/Alq (50 nm)/Al (15 nm)/MoO₃ (30 nm)/NPB(60 nm)/Alq(65 nm)/LiF (1 nm)/Al(150 nm)。

(E) Glass/Alq (80 nm)/Al (15 nm)/MoO₃ (30 nm)/NPB(60 nm)/Alq(65 nm)/LiF (1 nm)/Al(150 nm)。

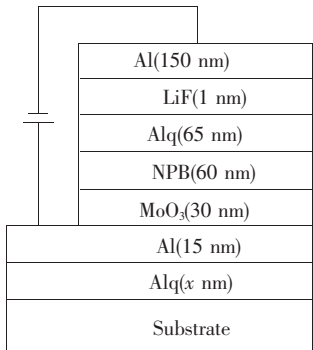


图 1 器件结构

Fig.1 Device structure

2.3 器件性能表征

器件的电流-电压特性由 Keithley2400 通用

性源表进行测量,器件的光谱由 PR-655 SpectraScan 采集。该 OLED 器件的发光面积约为 0.77 cm^2 ,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

本文主要目的是研究介质材料做覆盖层,研究其厚度对 OLED 出光性能的影响。将 Alq 蒸镀到玻璃上,再蒸镀电极和有机层。

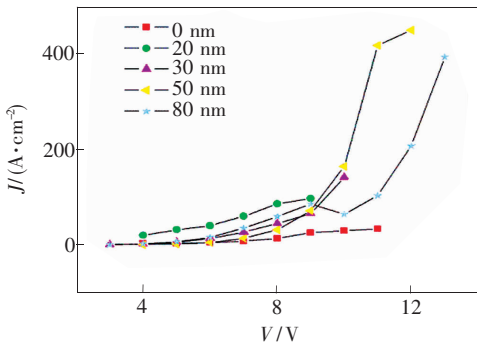


图 2 OLED 器件的 I-V 特性曲线
Fig. 2 I-V characteristics of OLED

图 1 所示为各 OLED 器件的电流密度-电压特性曲线,可以看出没有加入覆盖层 Alq 后器件在相同偏压下的电流密度明显低于加入覆盖层的电流密度,尤其是在高电压区域,当 Alq 为 50 nm 时,器件有更好的电特性。

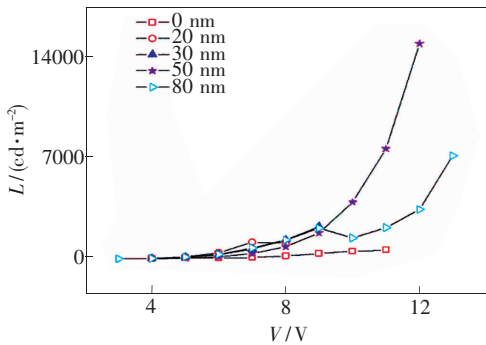


图 3 OLED 亮度-电压特性曲线
Fig. 3 L-V characteristics

由图 2 可以看出,在没有加入覆盖层的亮度明显低于有覆盖层的亮度,当覆盖层 Alq 的厚度为 50 nm,驱动电压为 12 V 时,有最高亮度 $14\,950\text{ cd/m}^2$ 。明显可以看出覆盖层 Alq 对光取出有提高作用,并且 OLED 光萃取率随厚度的变化也表现在 OLED 的电流效率和功率效率,如图

5 和图 6 所示。
Huang^[9]等认为光的取出问题不仅与光的透过率有关系,还取决于广角干涉与多光束干涉的复合作用。

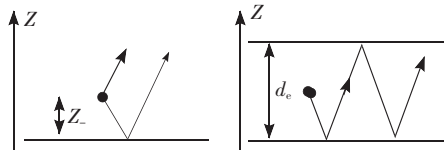


图 4 (a)广角干涉示意图,(b)多光束干涉示意图,其中 Z-为发光分子与电极之间的距离, d_e 为两电极之间的距离。

Fig. 4 Illustration of (a) wide-angle and (b) multiple-beam interference

广角干涉是由出射光与阴极反射光的振幅叠加所产生的,在底发射器件中,出射光从半反半透的阴极一侧射出,所以干涉作用更强,因此广角干涉与多光束干涉都起作用,并且广角干涉与多光束干涉之间的相互转化影响光的出射。

图 5 所示为不同厚度下 OLED 器件归一化后的发光光谱,覆盖层 Alq 厚度不同,发光光谱有很大的不同,这是由微腔效应引起的。

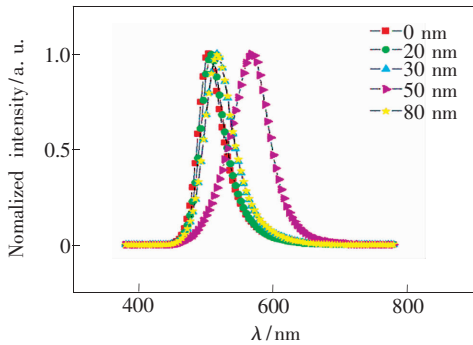


图 5 不同厚度下 OLED 归一化后的发光光谱
Fig. 5 Normalized EL spectra measured at constant current density for various Alq thicknesses

以 Al 为电极的 OLED 电致发光光谱的中心波长,随着覆盖层 Alq 厚度的增加而发生红移。光谱中心波长发生偏移是因为以半透明 Alq 膜为覆盖层和阳极铝膜与全反射的 Al 膜为阴极的 OLED 器件组成了一个微腔结构,由于 Alq 厚度的变化导致该谐振腔的腔长发生改变,总光学厚度以及微腔发光波长峰值满足以下关系式^[9]:

$$L = \frac{\theta_{ij}\lambda_m}{4\pi} + \sum_i n_i d_i = m \frac{\lambda_m}{2} \quad (1)$$

L 是微腔的总光程, θ_{ij} 是光分别在覆盖层和阴极的反射面的相移之和, n_i, d_i 分别是有机层的折射率和厚度; m 是发射膜的级数, λ_m 为级数为 m 的模的波长。由式(1)可知,微腔结构的总腔长 L 可以通过改变覆盖层的厚度来调节,而腔长 L 又与器件的发光模数 m 和峰值 λ_m 对应。因此,通过改变 Alq 的厚度,调节腔的光学厚度 L ,可以改变发射模数 m 的位置,从而改变微腔器件的发射波长 λ_m ,使电致发光光谱的中心波长发生移动。

Matterson^[5]等研究发现,荧光器件的最大电流效率在小电流、低亮度下得到,这是因为底电极(ITO)的表面粗糙性导致漏电流增加,从而低亮度下的电流效率比高亮度下的电流效率高。如图 6 所示为电流效率随电流密度的变化关系,当覆

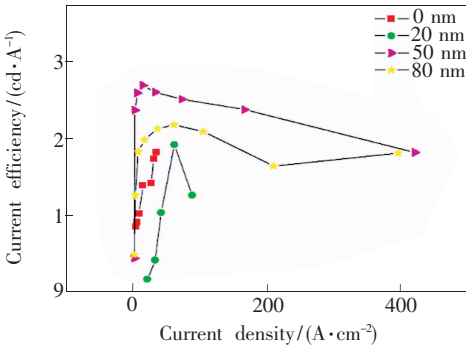


图 6 电流效率与电流密度的关系
Fig. 6 Current efficiency vs. current density for various capping layer thicknesses

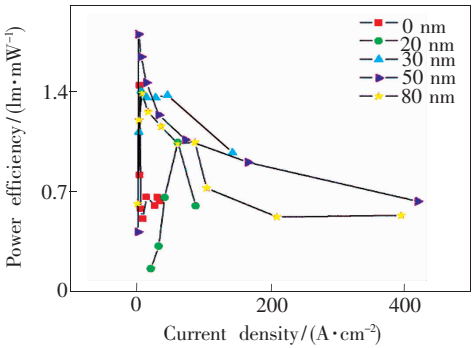


图 7 功率效率随电流密度的变化关系
Fig. 7 Power efficiency vs. current density for various capping-layer thicknesses

盖层厚度为 50 nm,电流密度为 13.88 A/cm² 时,有最大电流效率 2.69 cd/A。

图 7 所示为功率效率随电流密度的变化关系。当覆盖层厚度为 50 nm,电流密度为 2.14 A/cm² 时,器件有最大功率效率 1.79 lm/mW。

4 结 论

采用 Alq 作为 OLED 器件覆盖层,可以看出覆盖层厚度的变化引起光的干涉效应的变化是导致电致发光变化的原因。广角干涉和薄膜干涉之间的相互作用可以通过覆盖层的厚度来调节,并且半透明的 Al 膜做阳极出光面,将覆盖层蒸镀到阳极之外,与阴极组成微腔器件,通过改变覆盖层的厚度调节微腔的腔长,使 OLED 电致发光光谱的中心波长发生红移。

参 考 文 献:

[1] Tang C W, Vanslyke S A. Organic electroluminescent diodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, 51(12):913-915.
[2] Wei M K, Li J H, Lin H Y, et al. Efficiency improvement and spectral shift of an organic light emitting device by attaching a hexagon-based microlens array [J]. *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, 2008, 10(11):129-139.
[3] Lee J H, Ho Y H, Chen K Y, et al. Efficiency improvement and image quality of organic light emitting display by attaching cylindrical microlens arrays [J]. *Opt. Express*, 2008, 16 (26):21184-21190.
[4] 刘丁茜,张方辉,牟强,等. DCJTb 掺杂浓度对 OLED 器件性能的影响 [J]. *液晶与显示*, 2010, 25(5):596-600.
[5] Matterson B J, Lupton J M, Safonov A F, et al. Increased efficiency and controlled light output from a microstructured light emitting diode [J]. *Adv Mater*, 2001, 13(2):123-127.
[6] Do Y R, Kim Y C, Song Y W, et al. Enhanced light extraction efficiency from organic light emitting diodes by insertion of a two dimensional photonic crystal structure [J]. *Appl. Phys.*, 2004, 96(12):7629-7636.
[7] Wei M K, Su I L. Method to evaluate the enhancement of luminance efficiency in planar OLED light emitting devices for microlens array [J]. *Optics Exp*, 2004, 12(23):5777-5782.
[8] 曹进,张晓波,委福祥,等. 新型高色纯度弱电流猝灭性蓝色有机发光器件 [J]. *光学学报*, 2006, 26(2):275-278.

[9] Huang Qiang, Walzer Karsten, Pfeiffer Martin, *et al.* Highly efficient top emitting organic light-emitting diodes with organic out coupling enhancement layers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006, 88(11):113515(1-3).

[10] Han S, 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(1-3).



科技参考文献著录的规则

根据中华人民共和国国家标准“文后参考文献著录规则”(GB/T7714-2005),《液晶与显示》编辑部希望广大作者在向本刊投稿时注意参考文献的著录。

1. 文后参考文献书写格式

期刊:[序号]作者. 文献题名[文献类型标志]. 连续出版物题名:其他题名信息,年份,卷号(期号):起止页码[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[1]凌志华. STN-LCD 技术的发展[J]. 液晶与显示, 2002, 17(4):233-242.

例:[2]李晓东,张庆红,叶瑾琳. 气候学研究的若干理论问题[J]. 北京大学学报:自然科学版, 1999, 35(1):101-106.

例:[3]邵喜斌,王丽娟,李梅. a-Si:H TFT 亚阈值区 SPICE 模型的研究[J/OL]. 液晶与显示, 2005, 20(4):267-272. [2005-10-18]. http://www.wanfangdata.com.cn/src/szhqk/wf_szhqk_browser.Asp.

专著:[序号]作者. 题名[文献类型标志]. 析出文献其他责任者//专著主要责任者. 专著题名:其他题名信息. 版本项(第 1 版略). 出版地:出版者,出版年:析出文献的页码[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[4]周其凤,王新久. 液晶高分子[M]. 北京:科学出版社,1994:27-38.

例:[5]日本学术振兴会第 142 委员会. 液晶器件手册[M]. 黄锡珉,黄辉光,李之熔,译. 北京:航空工业出版社,1992.

例:[6]母国光. 白光光学信息处理及期彩色摄影术[M]//陈星旦. 光学与光学工程,北京:科学出版社,2005:62-72.

例:[7]赵耀东. 新时代的工业工程师[M/OL]. 台北:天下文化出版社,1998[1998-09-26]. [http://www.ie.nthu.edu.tw/inf/ie.newie.htm\(Big5\)](http://www.ie.nthu.edu.tw/inf/ie.newie.htm(Big5)).

例:[8]陈兵,徐寿颐. 新型烷基环己基炔类液晶的合成与性质[C]//2002 年中国平板显示会议论文集. 深圳:深圳天马微电子股份有限公司,2002:167-168.

例:[9]闫石. 液晶光控取向膜材料的研究[D]. 长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2001.

例:[10]全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会. GB/T5795-1986 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社,1986.

专利:[序号]专利所有者. 专利题名:专利国别,专利号[文献类型标志]. 公告日期或公开日期[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[11]吕永积,王群伟,邵佑军,等. 平板真空摄像器件:中国, ZL95241185. 7[P]. 1997-08-09.

(下转 P420)