

文章编号:1007-2780(2012)02-0168-05

粗化玻璃基板对 OLED 的影响

邱西振, 张方辉*, 丁磊, 张静

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

摘要: 研究了粗化玻璃对有机电致发光器件的影响, 分别在玻璃基板的平滑面及粗糙面上制作有机电致发光器件。所制备的器件结构为 Al(15 nm)/MoO₃(60 nm)/NPB(40 nm)/Alq₃:C545T(2%, 30 nm)/Alq₃(20 nm)/LiF(1 nm)/Al(100 nm)。从电流密度-电压-亮度性能及光谱特性等方面对两种器件进行了对比分析。实验结果显示: 当蒸镀面为平面时, 电流密度及亮度均比粗面型高, 其最高亮度达到 24 410 cd/m²。不同蒸镀面器件的相对光谱几乎没有变化, 但粗面型器件存在黑斑, 对其产生的原因进行了探讨。

关键词: 有机电致发光; 表面粗化; 玻璃基板; 出光率

中图分类号: TN873+.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20122702.0168

Impact of Roughening Glass on OLED

QIU Xi-zhen, ZHANG Fang-hui*, DING Lei, ZHANG Jing

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

Abstract: The impact of the information about the roughening glass on OLEDs was studied, The Organic Light-Emitting Devices (OLEDs) were produced on the smooth and the rough surface of the glass substrate, respectively. The device configuration is Al(15 nm)/MoO₃(60 nm)/NPB(40 nm)/Alq₃(30 nm):C545T(2%)/Alq₃(20 nm)/LiF(1 nm)/Al(100 nm). The current density-voltage-luminance(*J-V-L*) and the spectral characteristic of devices were analyzed, respectively. The results show that when the evaporation surface is smooth, the current density and luminance are both higher than the rough one. The highest luminance of the device is 24 410 cd/m². Different devices have little effect on the relative spectral, but there are dark spots in the rough device. Reasons for its occurrence were discussed.

Key words: OLEDs; surface roughness; glass substrate; light extraction

1 引 言

有机发光二极管(Organic light-emitting diodes, OLED), 因其拥有的自主发光、全固态结构、厚度薄、响应时间短、视角宽、发光效率高等诸多优点^[1-2], 成为最具潜力的下一代显示及照明技术。随着现今磷光材料的不断研究与优化,

OLED 的内量子效率已接近 100%, 而外量子效率却受限于出光率。一般 OLED 有机材料的折射率为 1.8, 常用的玻璃衬底折射率为 1.5, 空气的折射率为 1, 这样便会在阳极/玻璃/空气界面内形成全反射, 而真正出射到外部的光仅仅占到 OLED 发出光的 20%^[3-4], 很大一部分光分布到波导模态和衬底模态而被局限在有机层及玻璃衬

收稿日期: 2011-11-15; 修订日期: 2012-01-04

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)

作者简介: 邱西振(1987-), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 研究方向为平板显示技术。

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

底中。如何在 OLED 器件中减少光损耗,提高出光率成为研究的热点。

减少玻璃与空气界面的全反射可以减少衬底模态对光的吸收,增加出光率。常用的方法有玻璃表面粗化^[5],涂布微球粒^[6]及覆盖散射介质^[7]等。玻璃表面粗化后可以使入射光进入散射层后经过多次散射而出光,减少光损失,Shiang 和 Duggal 完善地提出了散射层的设计理论^[8],通过对参数的合理控制,实验中出光率可最大增加 40%。Do 等人提出了在基板与 ITO 间制造二维光子晶体^[9],将器件的电流效率从 11.5 cd/A 提高到 14.2 cd/A。Moeller 等人则在 ITO 玻璃背光植入了微透镜阵列,将器件的外量子效率提高了 50%,并且不影响其发射光谱^[3]。

我们采用单面粗化玻璃基板,使用真空蒸镀的方法在粗化面及平滑面依次蒸镀阳极(Anode)/空穴注入层(HIL)/空穴传输层(HTL)/发光层(EL)/电子传输层(ETL)/电子注入层(EIL)/阴极(Cathode),研究这种玻璃基板的两个面对器件

光电性能的影响。经实验初步研究表明:当蒸镀面为平面时,电流密度及亮度均比粗面时高。不同蒸镀面对相对光谱影响甚微,但是粗面型器件存在黑斑。

2 实 验

2.1 器件制备

实验所需材料:有机材料 Alq₃、C545T 购于西安瑞联近代电子材料有限责任公司,NPB 购于吉林奥来德光电材料股份有限公司,MoO₃ 购于 Sigma-Aldrich 公司。

实验所用真空蒸镀设备采用沈阳真空研究所的 OLED-V 型有机多功能成膜设备。制备器件前先对玻璃基板进行清洗操作。依次用丙酮、乙醇分别超声 15 min 左右,冲洗好的玻璃基板再用氮气枪反复吹洗表面,最后将玻璃放入烘箱中烘干。将烘干的玻璃基板放置于镀膜机中,开始抽真空到 10⁻³ Pa 后进行依次蒸镀。

为了研究不同玻璃表面对器件性能的影响,

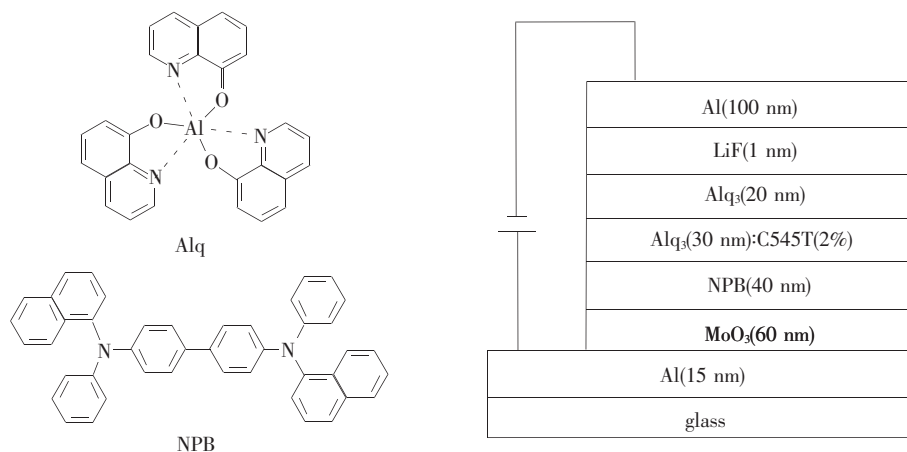


图 1 器件结构和有机分子结构

Fig. 1 Configurations of the devices and the molecular structures of organic materials

在同种单面粗化玻璃的平滑面或粗糙面上制备了两种器件,器件结构为:Glass (rough/smooth)/Al(15 nm)/MoO₃(60 nm)/NPB(40 nm)/Alq₃(30 nm):C545T(2%)/Alq₃(20 nm)/LiF(1 nm)/Al(100 nm)。实验中通过晶振控制膜厚,有机层的蒸镀速率为 0.2 nm/s,而 Al 电极约为 0.8 nm/s。

2.2 器件性能表征

整个测试过程在室温及大气环境中进行,器

件未进行封装。对真空室中取出的器件立即进行测试,电流-电压特性由 Keithely2400 型直流电源测量,电致发光光谱由 PR-655 SpectraScan 采集。器件发光面积为 8 mm×9 mm。

3 分析和讨论

图 2 为两种器件的电流-电压特性曲线。由图可知在不同表面蒸镀器件时,器件的启亮电压几乎没有明显变化,均为 5 V 左右。无论粗面或

平面上制作的器件都表现出典型的二极管整流特性。可以看到在相同电压下,在平面型器件拥有更高的电流密度,并且随着电压的增高,两者电流密度差距也随之增大。这是因为两种器件在相同的结构及电压下,平面型器件不但接触面积较小,而且其自身电流也更大,所以其电流密度相应更大。而随着电压的升高,增长的电流将会导致电流密度差距更大。

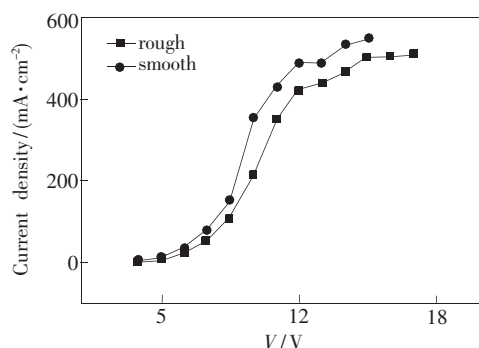


图 2 电流密度-电压曲线

Fig. 2 Current density-voltage characteristics

图 3 为两种器件的电压-亮度特性曲线。可以看到两种器件有着近似的变化趋势。随着电压的增长,两种器件的亮度逐渐增大。两种器件均在 13 V 时达到最大亮度。平面型器件的最大亮度达到 24 410 cd/m²,粗面型器件的最大亮度达到 19 930 cd/m²。同压下,平面型器件始终有着更高的亮度。这是因为其拥有更高的电流密度,更多的载流子注入为激子复合提供更多的机会,并且空气/玻璃界面的粗面可以有效地减少衬底模态的光损耗,增加光的输出,从而达到更高的亮度。

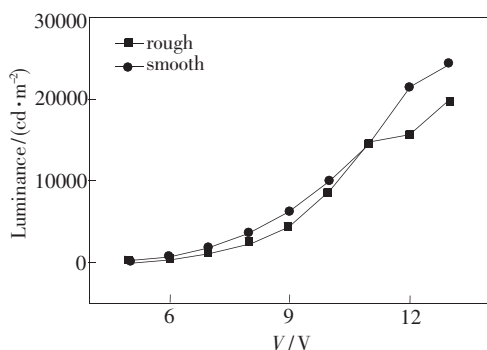


图 3 亮度-电压曲线

Fig. 3 Luminance-voltage characteristics

图 4 是两种器件的 $J-E$ 特性曲线。由图可知粗面型器件的最大电流效率可以达到 4.3 cd/A,

而平面型器件可以达到 4.7 cd/A。虽然平面型器件的最高电流效率比粗面型器件高,但是其稳定性不佳,随着电流密度的提高,其电流效率出现滚降,而粗面型器件却平缓得多。这种现象是因为平面型器件拥有更高的电流及电流密度,使更多的电子及空穴被注入,在低电压下产生电子空穴对几率大增,因而拥有更高的电流效率,但是随着电压继续升高,载流子注入不平衡更为突出,这种不平衡将在有机层中形成内建电场,而其产生的漂移运动将阻碍载流子注入,引起载流子复合几率的降低,因而器件的发光效率受到严重影响^[9]。

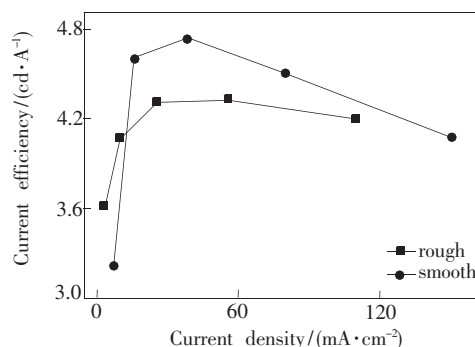


图 4 电流密度-电流效率曲线

Fig. 3 Current density-current efficiency characteristics

图 5 是两种器件在 9 V 时的相对光谱。光谱代表了光组分中各波长的相对强度。OLED 属于主客体掺杂发光,到达发光层的空穴与电子,受激发而产生激子,激子从主体材料可以转移到客体材料,这样既提高了发光效率,又增强了稳定性,还减少非辐射能量转移^[10]。从图 5 可以看出两种器件的电致发光光谱几乎完全重叠,而波峰都位于 520 nm 处,呈现绿色。这说明了不同蒸镀表面并不改变相对光谱,主要复合区域位置并未发生改变,导致其光谱也几乎完全重叠。

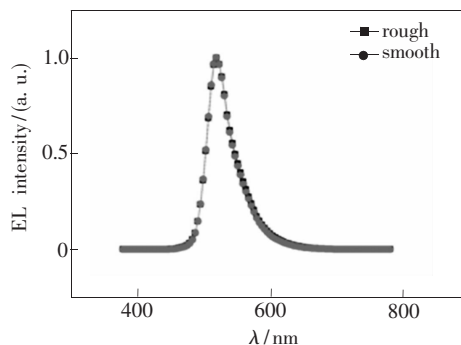


图 5 两种器件的相对光谱

Fig. 5 Relative spectrogram of two devices

所使用的器件结构为具有两金属反射镜面的微共振腔有机发光器件。相比常规 OLED 器件,光谱有明显窄化。一般 OLED 器件的半高宽约为 100 nm 左右,而本微腔结构的半高宽只有 44 nm。微腔效应的作用在于光谱窄化,光强增强,因此具有更好的饱和度。图 6 是两种器件在 9 V 下的绝对光谱分布。可以看到平面型器件有着更强的光谱分布。这是因为微腔结构的驻波电场为正弦分布,最大值在波腹处,而最小值在波节处^[11]。粗面型器件发光层位置存在不一致性波动,所以其部分的在微腔驻波的反节点,而平面型器件发光层位于微腔驻波的波腹处而有较高的光强。

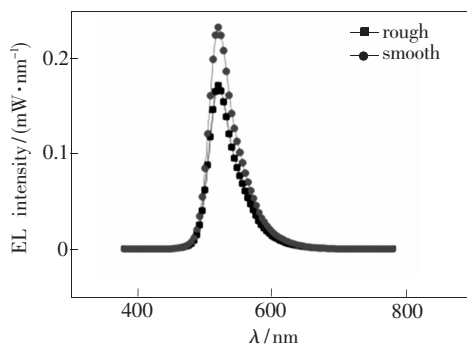


图 6 两种器件的绝对光谱

Fig. 6 Absolute spectrogram of two devices

本实验中粗面型器件存在不发光区域,即黑斑。这可能是因为蒸镀面的不平整,容易造成尖端放电,造成器件短路或漏电,产生不发光区域。同时尖端放电部位容易集聚大量的电流而使电流密度大于周围,便产生大量的焦耳热,过多的热会对有机薄膜的稳定性产生影响,使有机层界面间因热腐蚀而相互渗透,形成混合界面。混合界面处电流减少也易使金属阴极与电子注入层接合面受到破坏而脱裂,使部分界面未被阴极覆盖。因此,电子在此位置无法进入与空穴复合,从而产生了黑斑^[12-13]。

4 结 论

在不改变器件结构的情况下,在相同玻璃基板的表面制备了两种微腔结构绿光器件。研究了其对有机电致发光器件光电性能的影响,通过对实验分析及讨论得出以下结论:(1)两种器件均能增加出光率,粗面型器件是因为减少了波导模态的光损耗,而平面型器件是减少了衬底模态的光损耗。两种器件都因微腔效应而使光谱窄化,光强增强。(2)相同电压下,平面型器件比粗面型器件拥有更高的电流密度及亮度。(3)不同蒸镀面对器件的相对光谱几乎没有影响,但粗面型器件存在黑斑。

参 考 文 献:

- [1] Jia Y, Deng Z B, Xiao J, *et al.* The effect of pbd as electrontransporting layer inAlq₃:DCJTb organic light emitting devices [J]. *Chin. J. Lumin.*, 2008, 29(1): 23-26.
- [2] Han S L, Yuan Y B, Lian J R, *et al.* The effects of ITO anode resistance on OLEDs performance [J]. *Chin. J. Lumin.*, 2008, 29(3): 429-432.
- [3] Moller S, Forrest S R. Improved light out-coupling in organic light emitting diodes employing ordered microlens arrays [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2002, 91(5): 3324-3327.
- [4] Saxena K, Jain V K, Mehta D S. A review on the light extraction techniques in organic electroluminescent devices [J]. *Opt. Mater.*, 2009, 32(1): 221-233.
- [5] Patel N K, Cina S, Burrougher J H. High-efficiency organic light-emitting diodes [J]. *IEEE*, 2002, 8(2): 346-358.
- [6] Yamasaki T, Sumioka K, Tsutsui T. Organic light-emitting device with an ordered monolayer of silica microspheres as a scattering medium [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2000, 76(10): 1243-1245.
- [7] Shiang J J, Faircloth J J, Duggal A R. Experimental demonstration of increased organic light emitting device output via volumetric light scattering [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2004, 95(5): 2889-2895.
- [8] 陈金鑫, 黄孝. OLED 有机电致发光材料与器件 [M]. 北京: 清华大学出版社, 北京, 2007: 23-24.
- [9] 郑代顺, 张旭, 钱可元. 空穴缓冲层 CuPc 对有机电致发光器件特性的影响 [J]. *半导体学报*, 2005, 26(1): 78-82.
- [10] 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. Lett.*, 2004, 96(12): 7629-7636.

- [11] Shi J, Tang C W. Doped organic electroluminescent device with improved stability [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1997, (70):1665-1667.
- [12] Jordan R H, Rothberg L, Slusher R E, *et al.* Efficiency enhancement of microcavity organic light emitting diodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, 69(14):1997-1999.
- [13] Dos Anjos P, Aziz H, Hu N X, *et al.* Temperature dependence of electroluminescence degradation in organic light emitting devices without and with a copper phthalocyanine buffer layer [J]. *Organic Electronics*, 2002, 3(1):9-13.
- [14] Fujihira M, Do L, Koike A, *et al.* Growth of dark spots by interdiffusion across organic layers in organic electroluminescent devices [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, 68(13):1787-1790.

~~~~~  
(上接 P167)

例:[12]西安电子科技大学. 光折变自适应光外差探测方法:中国,01128777. 2[P/OL]. 2002-03-06[2002-05-28]. <http://211.152.9.47/sipoasp/zljs/hyjs-yx-new.asp?recid=01128777.2&leixin=0>.

电子文献:[序号]主要责任者. 题名:其他题名信息[文献类型标志]. 出版地:出版者,出版年(更新或修改日期)[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[13]PACS-L: the public-access computer systems forum[EB/OL]. Houston, Tex: University of Houston Libraries, 1989[1995-05-17]. <http://info.lib.edu/pacsl.html>.

例:[14]Online Computer Library Center, Inc. History of OCLC [EB/OL]. [2000-01-08]. <http://www.oclc.org/about/history/default.htm>.

2. 文后参考文献应在正文中引用该文献处进行标注。

3. 关于作者姓名,姓在前,名在后(拉丁文只用缩写);作者 3 人以下应全部列出,4 人以上仅列出前 3 人,其后加“等”(外文加“et al”)。

4. 注意参考文献标注的标点符号、次序,并不得缺项。

5. 参考文献著录不规范的有可能影响文章的录用。

注:文献类型和电子文献载体标志代码:

#### 文献类型和标志代码

| 文献类型 | 标志代码 | 文献类型  | 标志代码 |
|------|------|-------|------|
| 普通图书 | M    | 报告    | R    |
| 会议录  | C    | 标准    | S    |
| 汇编   | G    | 专利    | P    |
| 报纸   | N    | 数据库   | DB   |
| 期刊   | J    | 计算机程序 | CP   |
| 学位论文 | D    | 电子公告  | EB   |

#### 电子文献载体和标志代码

| 载体类型              | 标志代码 |
|-------------------|------|
| 磁带(magnetic tape) | MT   |
| 磁盘(disk)          | DK   |
| 光盘(CD-ROM)        | CD   |
| 联机网络(online)      | OL   |