

ITO 表面研磨处理对有机电致发光器件性能的影响

王 丽, 张希清, 林 鹏, 熊德平, 黄世华

北京交通大学光电子技术研究所, 信息存储、显示与材料开放实验室, 北京 100044

摘 要 用一种特制的纳米研磨粉摩擦方法处理 ITO 表面, 用扫描探针显微镜研究了 ITO 表面形貌, 发现 ITO 表面尖峰明显减少, 表面粗糙度降低; 研究了 ITO 处理与没做处理的双层结构有机电致发光器件, 发现 ITO 处理的器件在亮度和效率方面都有明显提高。分析了器件性能提高的原因, 认为是由于 ITO 处理的器件提高了注入载流子并且降低了界面势垒。

主题词 OLED; ITO; 表面处理; 纳米研磨粉

中图分类号: O484 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0593(2005)08-1207-03

引 言

有机电致发光(OLED)是近年来发展起来的一种令人瞩目的平板显示技术, 与其他显示技术相比, OLED 具有低直流电压驱动、高亮度、高效率、宽视角、快速响应以及易实现全彩色大面积显示等优点。自从 Tang 小组^[1]报道了有机电致发光器件以来, 国内外科学工作者做大量的研究工作, 在材料和器件研究方面已经取得了重大进展, 目前有机电致发光在平板显示领域中已经成为非常有竞争力的技术之一, 具有很大的市场应用前景, 并且正在逐步进入商品化阶段。

ITO(铟锡氧化物)由于具有良好的透明性和导电能力被作为透明电极广泛的应用于有机电致发光器件^[2, 3]。有机电致发光器件都是生长在 ITO 表面上, 因此 ITO 表面形态直接影响有机薄膜的质量和器件的发光性能。一方面粗糙 ITO 表面的尖峰是产生缺陷的一个重要原因之一; 另一方面, ITO 是器件的空穴注入电极, ITO 的表面势垒对器件性能产生影响^[4-6]。因此为了提高 OLED 的发光效率, ITO 表面的处理是非常重要的。本文着重介绍一种特殊的 ITO 表面处理方法, 用一种特制的研磨粉浆摩擦 ITO 导电玻璃的表面, 然后用 AFM(原子力显微镜)测量 ITO 的表面形态, 研究研磨处理对 ITO 表面形态的影响, 可以得到有关 ITO 粗糙度的几个重要参数。比较 ITO 处理与没做处理的两种双层有机电致发光器件的电压-电流密度、电压-亮度和电压-效率曲线, 发现通过改善 ITO 表面形态可以大大提高有机电致发光器件的性能。

国内对器件的电致发光研究也是热门课题, 例如文献^[7], 本文的研究则有一定的创新性。

1 实 验

取 3 块规格相同的 ITO 导电玻璃, 在玻璃上做好标记, 分别是 A, B 和 C 基片。首先用清洗剂清洗, 分别在丙酮、乙醇和去离子水中进行超声波清洗, 将研磨粉和水按一定的比例配制成浆状, 然后取 A 基片作参考基片不作摩擦处理, 其他两个基片分别用研磨浆摩擦 ITO 表面 3 和 7 min。将研磨处理过的基片在超声波清洗器中洗掉 ITO 表面残留的粉末。

在这些 ITO 基片上用热蒸发的方法制成双层有机电致发光器件, 器件结构如图 1 所示。器件封装后进行电压-电流-亮度的测量, 器件驱动面积 12.56 mm² 从而计算各器件发光的量子效率。

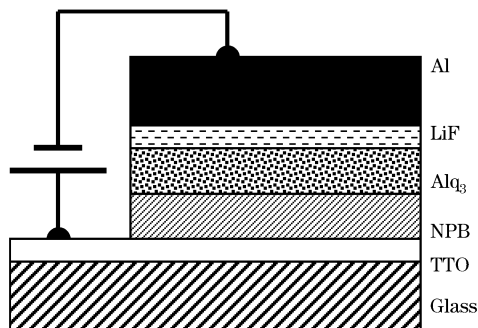


Fig. 1 Double-layer structures of devices
ITO/NPB/Alq₃/LiF/Al

2 结果与讨论

图 2 所示为 AFM 的扫描图片, 图 2(a)是没有经过摩擦

收稿日期: 2003-12-25, 修订日期: 2004-05-08

基金项目: 国家自然科学基金(60476005), 教育部留学回国人员科研启动基金(LIC03004)和“973”(2003CB314707)项目资助

作者简介: 王 丽, 女, 1978 年生, 北京交通大学光电子技术研究所硕士研究生

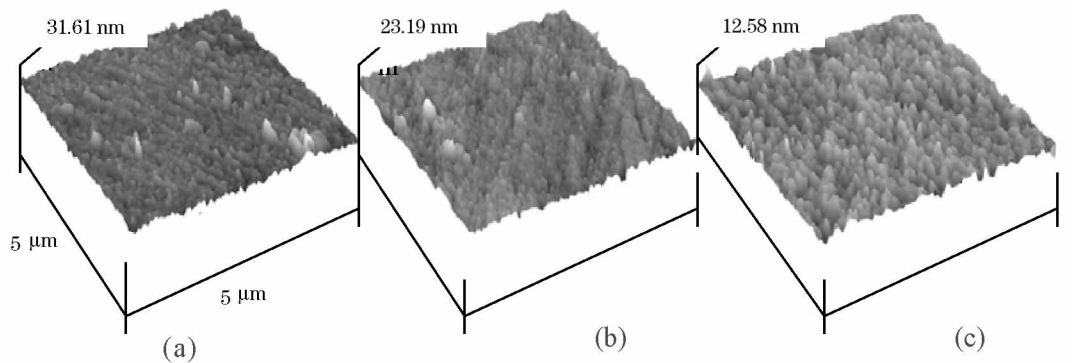


Fig. 2 AFM images of ITO surfaces for three samples

处理的 ITO, 可以看到上面明显分布着一些高度约为 30 nm 的尖峰, 图 2(b) 是经处理 3 min 的 ITO 图片, 可见上面的尖峰有显著的变少和变低了, ITO 表面的粗糙度有所降低。在处理 7 min 的图 2(c) 中明显突起的尖峰完全消除, ITO 的表面十分平整, 高峰和低谷的差距为 10 nm, 并且表面形态更加规则。可见研磨处理消除或减弱了 ITO 表面的尖峰, 使尖峰问题得到改善, 降低了粗糙度, 并且使得 ITO 表面形态更加规则。

表 1 所示是表征 ITO 薄膜表面平整度的几个重要参数的对比。表中第 1 列表示 ITO 的平均粗糙度, 可见没处理过的 ITO 高度是 2.1 nm, 而研磨处理后的 ITO 平均粗糙度分别为 1.1 和 1.0 nm, 粗糙度得到了明显的降低, 这一点从图 2 也可以清楚地看到。第 2 列表示高峰与低谷差的粗糙度, 清楚地证明了图 2 中观察到的结果。没处理过的样品差值为 10 nm, 图 2 中也可见上面分布这一些明显的尖峰, 处理 3 min 的样品差值降为 8.2 nm, 是尖峰的数量减少的结果; 研磨 7 min 的样品差值仅有 0.75 nm, 表面平整, 高低起伏很小。第 3 列表示均方根粗糙度, 同样可见其数值随着摩擦时间的增长呈下降趋势。图 3 定量地证明了摩擦处理对 ITO 表面形态的影响。

Table 1 Surface roughness characteristic of ITO thin film classified by different definition

Sample	Average Roughness/nm	Peak to valley Roughness/nm	Root-mean-square Roughness/nm
a	2.156	10.035	2.855
b	1.096	8.218	1.560
c	1.025	0.75	1.292

图 3、图 4 和图 5 分别表示的是经过 ITO 处理和没有处理的两种器件的电压-电流密度曲线、电压-亮度曲线和电压-效率曲线比较。从图 3 可以看到由摩擦处理过的 ITO 基片制成的器件(样品 C, B)在相同电压下的电流密度相对于没处理过的器件(样品 A)都有提高。但是摩擦 7 min 的样品 C 相对于样品 B 电流密度仅有很小的增长, 而样品 B 相对没处理过的样品 A 的电流密度有明显的提高。经过有机溶剂清洗后的 ITO, 虽然用去离子水多次超声清洗, 但是表面仍然粘附着一层约 0.7 nm 厚的不导电的有机污染物难以除去, 通过

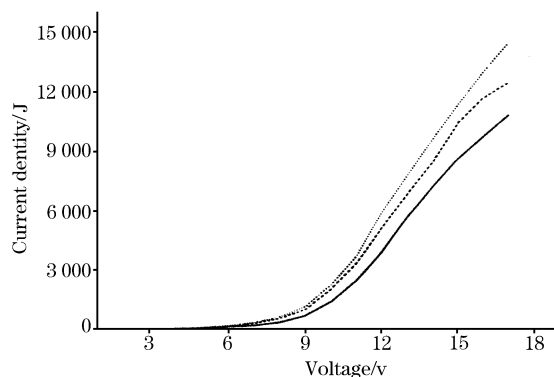


Fig. 3 J-V curves of devices fabricated on three different ITO thin films

—, Sample A; ·····, Sample B; ·····, Sample C

研磨处理可以去除有机污染物, 增强 ITO 膜表面与有机层的结合, 减小 ITO 界面势垒, 因而增强 ITO 的空穴注入能力, 使电流密度有一定的提高。进一步延长研磨处理的时间对电流密度的影响变小, 也证明了这一点。同时研磨处理降低了表面的粗糙度, 也有利于空穴的注入^[4]。

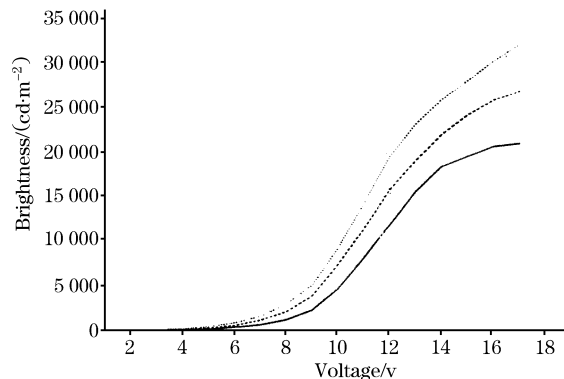


Fig. 4 B-V curves of devices fabricated on three different ITO thin films

—, Sample A; ·····, Sample B; ·····, Sample C

图 4 表示电压-亮度关系曲线, 研磨处理过 ITO 的器件比没处理过的器件在相同电压下亮度有明显提高。同时样品 C 相比样品 B 的亮度也有提高。图 5 为电压-效率曲线发现经

过处理的器件在电流效率方面比没处理过的器件有明显的提高, 没处理过的器件最大效率仅为 $3.2 \text{ cd} \cdot \text{A}^{-1}$, 处理 3 min 的器件为 $3.7 \text{ cd} \cdot \text{A}^{-1}$ 而处理 7 min 的器件最大效率可达到 $4.4 \text{ cd} \cdot \text{A}^{-1}$ 。ITO 膜作为其他有机物膜淀积的基底, 其表面形态将对有机膜的成膜质量(吸附性、内应力和结晶度)有很

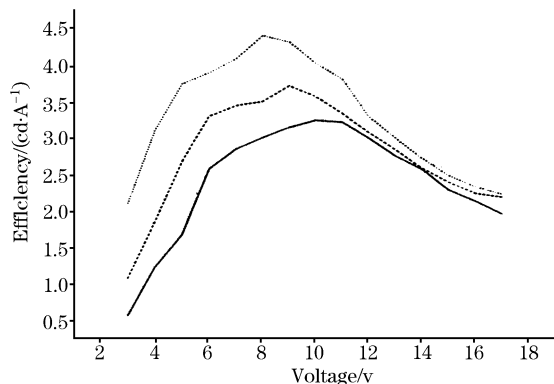


Fig. 5 Efficiency-voltage curves of devices fabricated on three different ITO thin films

—, Sample A; ----, Sample B; ·····, Sample C

大的影响。对于具有粗糙 ITO 表面的器件, 由于 ITO 表面的尖峰将导致局部高电场, 这种高电场使激子解离成正负极子, 从而减低器件的发光亮度^[8]。由图 2 和表 1 可知通过研磨处理减少或者基本消除了粗糙 ITO 表面的尖峰从而使器件的发光亮度得到提高。研磨处理过的 ITO 表面, 减少了表面的尖峰, 并且提高了表面的平整度。从而更有利于形成质量较好的有机薄膜, 并且提高了空穴的注入。使得 ITO 研磨处理过的器件电流效率都有明显的提高。

3 结 论

用特制的纳米研磨粉摩擦处理 ITO 表面后, AFM 的扫描测试发现 ITO 表面的尖峰减少, 粗糙度降低。用研磨过 ITO 的基片制成的器件比没处理过的器件在亮度和效率方面都有明显的提高, 分析表明纳米研磨粉摩擦处理 ITO 表面能减小 ITO 表面粗糙度、降低 ITO 界面的势垒, 提高了空穴的注入从而提高器件性能。可见以研磨处理的方法提高器件性能也是一种行之有效的新方法。

参 考 文 献

- [1] Tang C W, Slyke S A. Appl. Phys. Lett., 1987, 51: 913.
- [2] Wu C C, Wu C I, Sturm J C, et al. Appl. Phys. Lett., 1997, 70: 1348.
- [3] Kim J S, Friend R H, Cacialli F. Appl. Phys. Lett., 1999, 74: 3084.
- [4] Osada T, Kugler Th, Broms P, et al. Synth. Met., 1998, 96: 77.
- [5] Liu J M, Lu P Y, Weng W K. Material Science Engineering B, 2001, 85: 209.
- [6] Li F, Tang H. Appl. Phys. Lett., 1997, 70(20): 2747.
- [7] OUYANG Jian-ming, BAI Yu, YU Gui, et al(欧阳健明, 白钰, 于贵, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2004, 24(4): 499.
- [8] JIANG Hao, XU Xiao-hua, SUN Xin, et al(姜浩, 徐晓华, 孙鑫, 等). Acta Physics Sinica(物理学报), 1999, 48(12): 2327.

Influence of Novel Surface Treatment of ITO Anodes on the Performance of OLED

WANG Li, ZHANG Xi-qing, LIN Peng, XIONG De-ping, HUANG Shi-hua

Institute of Optoelectronics Technology, Laboratory of Materials for Information Storage and Display, Ministry of Railway Key Laboratory, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract The influences of surface treatments of indium-tin-oxide (ITO) anodes on the performance of OLED devices were investigated. This surface treatment is mechanical processes using a novel nanometer powder. Their surface morphology was measured by scanning using an AFM (atomic force microscope). The number and size of spike was reduced and regulation of ITO was enhanced; brightness and efficiency of devices were obviously increased. This novel way for ITO surface treatment by mechanical processes was proven to be effective.

Keywords Organic electroluminescence device; Indium tin oxide; Surface treatment; Nanometer powder

(Received Dec. 28, 2003; accepted May 8, 2004)