

彩色膜上 ITO 的室温沉积及其在 FPD 中的应用^{* *}

孟志国¹, 彭华君², 吴春亚^{1**}, 李娟¹, 熊绍珍¹, 丘成峰², 李娟娟²,
王文², 郭海成²

(1. 南开大学光电子所, 天津 300071; 2. 香港科技大学电机电子工程系, 香港九龙)

摘要:使用直流磁控溅射技术,在彩色膜衬底上室温制备出粘附性良好的氧化铟锡(ITO)透明导电薄膜。X光衍射(XRD)和原子力显微(AFM)分析表明,室温 ITO 为多晶态,薄膜具有很好的透过率和良好的导电特性,方块电阻为 $120 \Omega/\square$,对应 ITO/彩色膜复合膜在 450 nm 的蓝(B)光、530 nm 的绿(G)光、630 nm 的红(R)光处的峰值透过率均达到 85%左右。彩色膜与 ITO 电极的形成及联接等加工工艺有良好的相容性。对该技术在彩色液晶显示(LCD)和彩色有机发光显示(OLE)中的应用,进行了探索。

关键词:彩色过滤膜;氧化铟锡(ITO)透明导电薄膜;室温直流磁控溅射;脱膜图形微细加工;有机发光显示(OLCD);液晶显示(LCD)

中图分类号:TN304.2 文献标识码:A 文章编号:1005-0086(2005)02-0140-06

Room Temperature Deposition of Thin-film Indium-tin Oxide on Micro-fabricated Color Filters and Its Application to Flat-panel Displays

MENG Zhi-guo¹, PENG Hua-jun², WU Chun-ya^{1**}, LI Juan¹, XIONG Shao-zhen¹,
QIU Cheng-feng², LI Juan-juan², WANG Wen², GUO Hai-cheng²

(1. Institute of Photo-Electronics, Nankai University, Tianjin 300071, China; 2. Department of Electrical and Electronic Engineering, Hong Kong University of Science & Technology, Kowloon Hong Kong, China)

Abstract: Direct deposition of indium-tin oxide (ITO) thin film on color filter is of practical use in the construction of advanced flat-panel display. Room-temperature DC magnetron sputtering of thin-film ITO and issues related to the integration of such ITO on glass panel containing micro-fabricated color filters (CFs) and other functional materials have been investigated. The resulting polycrystalline ITO exhibit good adhesion to the underlying CFs, as well as good optical transparency and high electrical conductivity, the sheet resistance of ITO on CFs is about $120 \Omega/\square$, and the transmittance is higher than 85% at wavelengths of 450 nm (B), 530 nm (G) and 630 nm (R). Application of this ITO deposition technology to color liquid-crystal displays (LCD) and organic light-emitting displays (OLE) were also presented.

Key words: color filter (CF); indium-tin oxide (ITO) transparent conductive thin film; room temperature DC magnetron sputtering; lift-off micro-pattern method; organic light emitting display (OLE); liquid crystal display (LCD)

* 收稿日期:2004-04-02 修订日期:2004-09-08

* 基金项目:国家“863”计划资助项目(2002AA303261);国家自然科学基金资助项目(60077011,69907002);天津市自然科学基金资助项目(023602011)

** E-mail:wuchy@nankai.edu.cn

1 引言

彩色膜在平板显示器实现彩色化中起着重要的作用,其广泛应用于彩色液晶显示器中^[1,2]。通常在液晶显示(LCD)中,常使用的电极结构是在氧化铟锡(ITO)上涂覆彩色膜。彩色膜一定的绝缘性,将使LCD显示器的驱动电压增大,导致功耗增加、液晶的响应速度减低等问题。由于高电压,使基板的制备难度增加。对于如有机发光显示(OLE)这样的电流型发光器件^[3~9],上述结构将带来更严重的问题。因此,为改善接触特性,ITO电极必须与发光器件直接相接。为此,我们提出在彩色膜上沉积ITO的研究。它涉及有机和无机膜的粘附问题,光谱特性、电学特性、结构特性、表面特性、微加工工艺相容性及其在LCD和OLE中应用中的关键性能的实现与提高等系列问题。

2 样品制备

2.1 彩色膜的涂覆工艺和微加工工艺

首先用70℃的MS2001有机清洗液清洗玻璃衬底,去除其表面的颗粒和有机物。清洗后并去水的衬底在180℃的超净烘箱中烘烤10min,之后熏HMDS10min,进一步去水和形成粘附增强层。彩色膜为可直接曝光而加工图形的负性感光膜,红(R)、绿(G)、蓝(B)三种膜涂覆时基片的旋转速度分别为500、600、500r/min。涂覆后的彩色膜基板在110℃的热板上前烘3min,然后在波长为320和400nm、功率密度为36.5mW/cm²的曝光机(Contact AM-B2)上进行图形的对版和曝光,曝光时间为5s。在1:100的KOH水溶液中进行图形的显影,时间约为1min。显影清晰后,进行冲水和吹干,并在180℃的烘箱中坚膜10min。如果在同一块衬底上,制备R、G、B多种颜色的图形,可循环进行上述过程。所有图形全部完成后,在180℃烘箱中进行6h的烘烤,以保证薄膜内的PI充分聚合,并减小图形层面与衬底表面的夹角,以有利于即将在其上沉积的ITO能与之良好亲润。

2.2 室温ITO的溅射及微图形脱膜微加工

因为彩色膜的显影液会对Al电极造成腐蚀,而且彩色膜制备后长时间的180℃烘烤也会使Al电极表面形成氧化层。为避开上述问题,采用在彩色膜光刻并充分坚膜之后,在彩色膜上打开ITO与Al电极的接触孔。加工过程为:在彩色膜光刻并已经充分坚膜的基板上,熏HMDS10min后,涂覆HPR204正

性光刻胶,转速为4000r/min,胶膜厚度为1μm。然后110℃热板前烘3min。Contact AB-M2光刻机曝光5s,FHD-5显影液中显影1min,之后DI水冲净,N₂吹干后120℃烘箱坚膜20min。使用777氧化层腐蚀液腐蚀12min,开出Al电极和ITO电极的接触孔,在70℃MS2001有机去膜液中,去除204光刻胶。表面清洗后,使用AZ1518胶光刻出ITO脱膜图形。使用ITO靶直流磁控溅射的方法,获得室温沉积的ITO薄膜。磁控靶直径为5.2cm,靶距为15cm,溅射台预真空为6×10⁻⁵Pa,反应气体为O-Ar混合气体,O-Ar为1:100。反应气体压强为1.3Pa,功率为120W,溅射时间为30min。之后,把ITO基板浸泡在丙酮溶液中,并加以适当功率的超声震荡,待光刻胶完全脱膜后,用DI水冲洗基板表面,即获得所需图形的ITO电极。

2.3 在LCD中的应用

为了比较和分析彩色膜加ITO电极基板对降低液晶盒开启电压的作用,我们同时制备了2种液晶盒,如图1所示。

图1 传统的ITO上涂覆彩色膜电极板(a)和在新型的彩色膜上蒸镀ITO电极板(b)所构成的彩色液晶显示盒

Fig. 1 Liquid-crystal cells with rear panels consisting of CF/ITO/glass (a) and ITO/CF/glass (b)

2种液晶盒的上基板完全相同,均为在带有ITO电极图形的玻璃上涂覆PI取向层,采用相同摩擦工艺条件进行摩擦取向。下基板的结构不同:一种如图1(a)所示,在玻璃衬底上先涂覆彩色膜,然后在彩色膜上蒸镀ITO电极;另一种,先在玻璃衬底上蒸镀ITO电极,接着在ITO上涂覆与图1(a)相同类型的彩色膜,之后2块下基板以相同条件涂覆PI并摩擦取向,填充液晶,保证2盒的盒厚相同,形成透射式

TN 盒。具体参数为:彩色膜厚 1.0 μm,液晶盒厚 5 μm,液晶型号为 88 Y1104。

该技术亦用来制备全集成型有源选址 LCD (SOP-LCD),液晶盒结构与图 1(b)类似,不同之处在于 RGB 彩色膜及 ITO 制备在全集成型 MIUC poly-Si TFT 有源选址基板上。

2.4 在 OLED 中的应用

OLED 和 LCD 不同,是电流驱动器件,ITO 电极必须与 OLED 相联,如图 2 所示。玻璃衬底上依次涂覆 1.0 μm 的 R、G 和 B 彩色膜,彩色膜上蒸镀一层 180 nm 的室温 ITO,作为衬底和 OLED 的阳极材料。为进一步清除 ITO 表面可能存在的有机污染,在进入真空蒸发器前,用 O₃ 气氛紫外光照射 5 min,随后制备有机发光器件,并在 N₂ 手套箱中进行显示盒封装^[10-12]。

图 2 彩色膜上蒸涂 ITO 电极的白光分色技术形成彩色 OLED 显示器的示意图

Fig.2 Schematic diagram of a color display based on CFs and white-light OLED

3 彩色膜上室温直接沉积 ITO 透明导电膜的性能

3.1 表观和微结构

图 3 为在玻璃底上涂覆并光刻出的 R、G 和 B 彩色像素的显微照片,使用 Tencor P-10 台阶仪对 R、G 和 B 彩色膜图形的膜厚、表面状态盒图形边缘状态进行分析。其截面台阶状态如图 4 所示。R、G 和 B 彩色膜厚分别为 990、1 100 和 1 050 nm,平均值接近 1 040 nm。彩色膜表面基本平整。边缘层面与衬底的夹角,热处理之前为 60°。经 6 h 180 ° 烘烤后,彩色膜与玻璃表面的粘附性能得到明显改善,此时的夹角仅为 30°,这将有损于彩色膜上的 ITO 与下面电极的联接。

图 5 为 AMOLED 有源玻璃基板上的彩色膜开接触孔、沉积并加工成 ITO 电极后的 1 个像素单元

的显微照片。其中有 2 个影响薄膜质量的关键问题是令人关注的:1) 用 70 MS2001 有机去膜剂去除彩色膜上的 204 光刻胶后是否会影响彩色膜的表面状态? 2) 彩色膜表面与 ITO 的粘附性是否确实良好? 实验结果表明,由彩色膜去胶前、后表面状态的比较,表面状态并没有变化;ITO 与彩色膜的表面也具有有良好的粘附性,无论加温处理与否,均未出现 ITO 脱膜现象。

图 3 玻璃衬底上涂覆并光刻出的 R、G 和 B 彩色像素的局部显微照片

Fig.3 Photograph of micro-fabricated R, G and B CFs array

图 4 台阶仪测得的玻璃衬底上坚膜后的 R、G 和 B 彩色像素截面图

Fig.4 Surface profilometer scan of R, G and B CFs after extended hard bake

图 5 AMOLED 的彩色像素单元的显微照片

Fig.5 Photograph of one color pixel of AMOLED

常规的 ITO 膜要在 300 ~ 350 的衬底温度下磁控溅射而得^[13,14],这样可使该膜的致密性好,电导率高,易于加工成微小图形。但是由于一般彩色膜能承受的温度低于 230^[14],考虑到溅射时,薄膜表面还要升温,溅射时的衬底温度应选择从室温到 200 范围较为适宜。试验发现,在这个温度范围内生长的 ITO,采用常规光刻腐蚀工艺,图形边缘很不整齐,难于加工成微小的图形。为此,采用室温溅射、光刻胶脱膜法来制备 ITO 微小尺寸的电极。

对在彩色膜上制备的 ITO 膜进行 X 光衍射 (XRD) 测试分析,如图 6 所示。结果显示,该薄膜为多晶态薄膜。XRD 的晶化峰对应于 30.8 和 35.3 衍射角,主要晶向为 (400) 和 (222),根据衍射峰半高宽计算,晶粒的平均尺寸为 90 nm。

图 6 彩色膜上溅射的室温 ITO 的 XRD 谱线

Fig. 6 XRD spectrum of room-temperature
DC magnetron sputtered ITO on CF

图 7 为在玻璃衬底室温彩色膜上沉积的 ITO 膜的 AFM 照片。其表面平整度尚可。

图 7 彩色膜上室温 ITO 的 AFM 照片

Fig. 7 AFM image of room-temperature
DC magnetron sputtered ITO on CF

3.2 光电性能

所获得的 ITO 薄膜亦具有优良的透过特性和良好的导电特性。

图 8 是在 1737 玻璃衬底上,室温溅射厚约 180 nm ITO 薄膜的透过率随波长变化曲线(其数值以 1737 玻璃的透过率作参考)。对应 450 nm B 光处的透过率为 93.3%,530 nm G 光的透过率为 96.7%,630 nm 的 R 光的透过率为 91.3%。方块电阻为 120 /。

图 9 是 R、G 和 B 3 种彩色膜以及分别于 3 种彩色膜上室温溅射 ITO 后透过率光谱曲线的比较。3 种彩色膜对应的峰值透过率平均值为 94%,溅射 ITO 后,对应的峰值透过率平均值约为 85%。

图 8 室温溅射的 ITO 薄膜在空气下经
180、6 h 退火后透过率谱

Fig. 8 Transmittance spectrum of room-temperature
DC magnetron sputtered ITO on glass

图 9 R、G 和 B 彩色膜以及在 3 种彩色膜上
溅射室温 ITO 后的透过率谱

Fig. 9 Comparison of the transmittance spectra
of R, G and B CFs and the same filters covered by ITO

图 10 为使用相同的上电极基板和同样封盒参数及液晶材料,只是下电极基板彩色膜和 ITO 顺序不同的液晶盒的电-光(即透过率-电压)曲线。彩色膜加 ITO 的液晶盒透过率为 50% 的电压为 1.45 V,而

ITO 加彩色膜的开启电压为 1.65 V。采用新型电极结构使开启电压降低了 0.2 V。其原因在于新电极结构去除了降在彩色膜上的液晶盒内的分压。这样的特性改进对降低彩色液晶显示器的驱动电压,减低功耗和提高液晶驱动速度是非常有效的。而且,当液晶盒的厚度越薄,盒内液晶材料呈现的电阻性相应减小,彩色膜的绝缘电阻带来的提高分压的影响则将更为明显。

图 10 下电极基板分别为彩色膜上加 ITO 和 ITO 上加彩色膜 LCDs 的电-光曲线

Fig. 10 Transmittance-voltage characteristics of LCDs with the two different rear panels

彩色 OLED 是新型平板显示器研究和开发的热点,被认为是有潜力能与当前平板显示主流 LCD 竞争的新星。彩色膜上沉积 ITO 与白(W)光 OLED 的结合可形成“W 光分色”的彩色技术,对小尺寸高密度像素显示屏而言,应该是一种高性能、低成本的彩色 OLED 技术。图 11 为直接以玻璃衬底上 ITO 为阳极的 G 光 OLED 的光谱分布,以及与在 G 色滤色膜上溅射 ITO 再蒸镀 G 光 OLED 的光谱分布的比较。后者的光谱曲线明显地因受 G 色滤色膜透射谱的调制而呈现窄化现象,更为偏向基色 G 光的特性。可见预见,如果是 W 光 OLED,就可通过这种滤色膜

图 11 玻璃和玻璃彩色膜上直接室温直流溅射 ITO 的 G 色 OLED 的发光光谱

Fig. 11 Emission spectra of OLEDs fabricated on room temperature DC magnetron sputtered ITO on glass and on CF/ glass

的分色作用实现 OLED 的彩色化显示。图 12 所示的是上述两种 G 光 OLED 的发光亮度随电流变化的比较, OLED 是在同一批次下蒸发的。可以看到,后者的发光亮度曲线(三角形符号)与直接在玻璃衬底上制备的 OLED 相比,去除彩色膜透过率通常引入约 5~7% 的影响以及使光谱窄化的影响,室温溅射在基色滤光膜上 ITO 带来的影响一般在 15% 以内,这与它带来的优点相比是可以接受的。

图 12 玻璃和玻璃彩色膜上直接室温直流溅射 ITO 的 G 色 OLED 的发光亮度与驱动电流的关系曲线

Fig. 12 Luminance-current density characteristics of OLEDs fabricated on room-temperature DC magnetron sputtered ITO on glass and on CF/ glass

4 结 论

使用直流磁控溅射方法,室温下在已光刻成微小图形的彩色膜上直接沉积出粘附性良好的 ITO 透明导电薄膜。选择优化的工艺条件,可溅射出多晶态的室温 ITO,方块电阻为 120 / ,对应 450 nm 的 B 光,530 nm 的 G 光及 630 nm 的 R 光的峰值透过率达到 85% 左右。采用脱膜(lift-off)方法对 ITO 进行微细加工,得到完整的 ITO 微图形。提出和前后工序兼容的制备和微细加工工艺流程,并实现了其在 AM-LCD 和 AM-OLED 平板显示的应用。

该技术在降低彩色 LCD 的驱动电压和功率消耗上有明显的优势。在高性能低成本彩色 OLED 显示器中,极具实际应用价值。

参考文献:

[1] Seiko. A method to fabricate color filters and multi-color liquid crystal display device [P]. Chinese Patent: 95103249. 6, 1995.
 [2] Taniguchi Y, Inoue H, Sawasaki M, et al. An ultra-high-quality MVA-LCD using a new multi-layer CF resin spacer and black matrix[A]. In: SID Inter Symp Digest Tech Pa-

- pers[C]. 2000. 378-381.
- [3] Kido J, Kimura M, Nagai K. Multilayer white light-emitting organic electroluminescent device [J]. Science, 1995, **267**:1332-1334.
- [4] Rajeswaran G, Itoh M, Boroson M, et al. Active matrix low temperature poly-Si TFT/OLED full color displays: development status[A]. In: SID Inter Symp Digest Tech Papers [C]. 2000. 974-977.
- [5] Ghosh A P, Howard W E, Sokolik I, et al. Color changing materials for OLED Microdisplay[A]. In: SID Inter Symp Digest Tech Papers[C]. 2000. 983-985.
- [6] Prache O. Full color SVGA + OLED on silicon microdisplay[A]. In: SID Inter Symp Digest Tech Papers [C]. 2001. 514-517.
- [7] Funamoto T, Matsueda Y, Yokoyama O, et al. A 130-ppi, full-color polymer OLED display fabricated using an ink-jet process[A]. In: SID Inter Symp Digest Tech Papers[C]. 2002. 899-901.
- [8] Ju S H, Yu S H, Kwon J H, et al. High performance 2.2 QCIF full color AMOLED display based on electrophosphorescence[A]. In: SID Inter Symp Digest Tech Papers [C]. 2002. 1096-1099.
- [9] Dobbertin T, Kroeger M, Heithecker D, et al. Inverted top-emitting organic light-emitting diodes using sputter-deposited anodes[J]. Appl Phys Lett, 2003, **82**:284-287.
- [10] Meng Z, Wang M, Wong M. High performance low temperature metal-induced unilaterally crystallized polycrystalline silicon thin film transistor for system-on-panel applications[J]. IEEE Trans on Electron Devices, 2000, **47**(2):404-409.
- [11] Meng Z, Wong M. Active-matrix organic light-emitting diode displays realized using metal-induced unilaterally crystallized polycrystalline silicon thin-film transistors[J]. IEEE Trans on Electron Devices, 2002, **49**(6):991-996.
- [12] Meng Z, Chen H, Qiu C, et al. Application of metal-induced unilaterally crystallized polycrystalline silicon thin film transistor technology to active-matrix organic light-emitting diode display[A]. In: IEDM00 Technical Digest [C]. 2000. 611-614.
- [13] Bender M, Trude J. Deposition of transparent and conducting indium-tin-oxide films by the r. f.-superimposed DC sputtering technology[J]. Thin Solid Films, 1999, **354**(1-2):100-105.
- [14] Bender M, Trude J, Stollenwerk J. Deposition of highly conductive ITO thin films for display application with the rf/dc process[A]. In: SID Inter Symp Digest Tech Papers [C]. 1999. 841-843.

作者简介:

孟志国 (1963 -),男,2002年获香港科技大学博士学位,现为南开大学信息学院教授、副院长,主要从事光电子器件与显示技术研究。