

文章编号:1007-2780(2013)05-0703-04

## 基于 ITO 薄膜的透明 LED 显示屏的制作

熊智淳,张哲娟\*,茅艳婷,孙 卓

(华东师范大学 理工学院 物理学系 纳光电集成与先进装备教育部工程研究中心, 上海 200062, E-mail: zcxiong@139.com)

**摘 要:** 设计了一种新型透明 LED 显示器,分别以玻璃与聚对苯二甲酸乙二醇酯薄膜(PET)为基底材料,研究制作了非柔性及柔性透明 LED 显示器模块。以 ITO 薄膜作为导电电极,采用激光刻蚀工艺,在基底材料上形成导电回路;选用贴片发光二极管(SMD LED)颗粒作为发光源,通过点胶固晶工艺安装 SMD LED,制作的 LED 显示器件具有透明双面显示效果。

**关 键 词:** SMD LED;透明显示屏;驱动电路

**中图分类号:** TN873 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20132805.0703

### Fabrication of Transparent LED Display baseB on ITO Thin Film

XIONG Zhi-chun, ZHANG Zhe-juan\*, MAO Yan-ting, SUN Zhuo

(Department of Physics, Engineering Research Center for Nanophotonics and Advanced Instrument, Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China, E-mail: zjzhang@phy.ecnu.edu.cn)

**Abstract:** A novel LED display was designed, using glass and PET as the substrate materials, respectively, and the non-flexible and flexible transparent LED display was produced. In the experiment, ITO thin film was used as the electrodes, which were made conducting path by laser-etching technology on different substrate. The SMD LEDs were chosen as the light source, adhered on the ITO glass through the solid crystal dispensing process. The production enables to display on the transparent medium and show the effect of double-sides transparent display.

**Key words:** SMD LED; transparent display; driver circuit

## 1 引 言

LED 显示屏自上世纪 80 年代开始在全球范围内广泛应用<sup>[1-2]</sup>。它利用发光二极管,构成点阵模块,从而实现大面积的显示功能。目前 LED 显示屏正向更高亮度,更长使用寿命,更新显示效果,更好发光均匀性和可靠性等方面发展<sup>[3]</sup>。在国外,日本 Rohm 公司和美国 CREE 在新材料的开发研制和应用上展开技术合作,通过改进材料,提升显示屏的显示效果、降低显示屏能耗等<sup>[4]</sup>。

在国内,LED 显示屏正逐渐向规模化、标准化方向发展,产品结构也日趋多样性,价格也日趋稳定<sup>[5]</sup>。

LED 除了应用于传统的大规模显示屏的制作中,各种新奇的显示屏幕逐渐被人们开发。诸如希望能够使得显示效果更加漂亮,希望能够实现在玻璃等透明载体上实现透明显示,甚至希望能够设计出一款新型的可弯曲的透明显示屏等。届时,透明落地窗变成了大面积显示屏<sup>[6]</sup>,车的挡风玻璃上可以显示车速, GPS 导航等数据。

收稿日期: 2013-04-16; 修订日期: 2013-06-25

基金项目: 国家青年自然科学基金资助项目(No. 11204082); 上海市科技攻关半导体专项基金(No. 11DZ1141002)

作者简介: 熊智淳(1989—),男,上海人,硕士研究生,从事低成本透明显示装置的研究。

\* 通信联系人, E-mail: zjzhang@phy.ecnu.edu.cn.

目前主流的透明显示技术主要为 LCD、OLED、PDP 这三类<sup>[7]</sup>。LCD 液晶透明显示屏, 透明度高、驱动电压低等特点, 2010 年日本夏普公司实验小组研制出网状聚合物液晶显示屏 (Polymer Network Liquid Crystal) 可以用 TFT 有源矩阵进行驱动<sup>[8]</sup>, 但该类型显示屏存在需要依靠外界光进行显示, 并且液晶分子的响应速度低等问题, 因而目前无法得以大面积推广应用。OLED 具有全固态、主动发光、高亮度、低功率等特点<sup>[9]</sup>, 因此是透明显示技术的研究热点。2010 年, 韩国大田的一个氧化物电子研究小组通过一种新型结构的研究<sup>[10]</sup>, 将 AMOLED 面板的透明度提升至 80% 左右。但由于工艺及造价的限制, 该项技术无法用于大面积透明显示领域。而 PDP 技术制造工艺和装置结构相对简单, 不需要 TFT 驱动电路, 较适合制作大尺寸透明显示面板。2011 年, 韩国大田科学技术研究院研制出一种基于 PDP 技术的透明显示屏, 使用了透明度很好的障壁和绝缘层<sup>[11]</sup>, 但该透明显示屏的透明度仅为 63%<sup>[12]</sup>。此外, 柔性显示正逐步改变着人们的生活和交流, 具有超薄、质量轻、设计自由、可收卷的特点, 预测 2007~2013 年的柔性显示器市场前景约有 20 亿美元<sup>[13]</sup>。

本文以低成本、高透明显示为目标, 设计一种固定显示的透明 LED 显示屏。利用不同基底的 ITO 薄膜透明导电性, 采用激光刻蚀技术, 分别将硬质或柔性衬底上的 ITO 薄膜制作成所需的导电回路; 再将小型 SMD LED 连接于导电回路中作为显示像素点, 通过驱动电路使其能够在透明介质上发光显示, 达到双面透明显示的效果。

## 2 实 验

实验中采用 Croeldraw12 软件设计了适用于“纳米中心”四字字符显示器的薄膜电极布线图, 如图 1 所示, 图中黑线表示需要通过激光刻蚀机刻蚀掉表面 ITO 薄膜的部分, 起阻断电流的作用; 白色部分为 ITO 薄膜导通区。实验中选用表面电阻低至  $10 \Omega/\square$  的 ITO 玻璃为显示器基板, 使用激光蚀刻机按照显示字符设计图, 对 ITO 薄膜进行图形化刻蚀, 刻蚀功率为 7.7 W。

完成导电电极图形化制作后, 选择 0805 型的 SMD LED, 用固晶胶将其以全串联形式贴装在图形化透明电极基底材料上, 使其正负极分别跨接

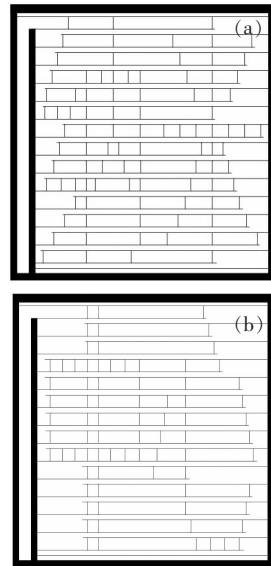


图 1 字符的 ITO 膜电极电路分布图。(a) 纳米; (b) 中心。  
Fig. 1 Design of ITO electrode for character mode display: (a) Image of the character“纳米”; (b) Image of the character“中心”.

在黑线两侧, 经高温干燥 ( $<150 \text{ }^\circ\text{C}$ ), 固晶胶固化并转为透明。通过点胶工艺, 使用常温固化银胶使 LED 的正负极分别与透明导电电极导通。在模块的下方用铜箔电极分别引出显示屏的正负电极引出端, 用于连接显示屏驱动电路 (如图 2 所示)。

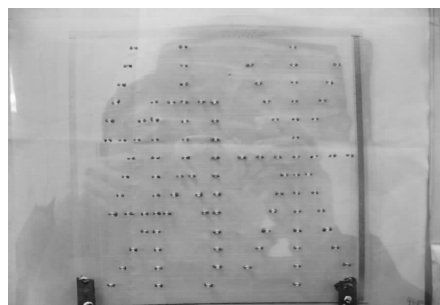


图 2 透明 LED 显示器模块  
Fig. 2 Module of transparent LED display

## 3 结果与讨论

字符显示模块中发光点数量及其串联模式, 实验中采用效率较高的电容式驱动电路<sup>[14]</sup>。由于“纳米”和“中心”2 组汉字笔画复杂程度不同的原因, 在固定字符设计中使得每个字所包含的像素点数量不同, 即 LED 数量不同, LED 的个数决

定了驱动电路所需的电压不同,为了使 4 个字显示色彩和亮度相对平衡,在制作过程中“纳米”和“中心”分别采用了驱动电压较低的红色和驱动电压较高的绿色的 LED。实验中对同一驱动电路的“纳米”和“中心”2 组字符的现实区域的  $I-U$  关系进行了测试,其结果如图 3 所示。随着输入电压的逐渐升高,工作电流稳定上升,两块模组的工作  $I-V$  特性接近,当输入电源为 220 V 交流电时,电路中的电流分别为 14.2 mA 和 11 mA。两组字符亮度随电流的变化曲线如图 4 所示。随着电流的增加,LED 的亮度逐渐增加,当电流达到 10 mA 时,红色的“纳米”字样的亮度为 264  $\text{cd}/\text{m}^2$ ,而绿色的“中心”为 380  $\text{cd}/\text{m}^2$ ;而电流达到 14 mA 是,红色的“纳米”字样的亮度为 344  $\text{cd}/\text{m}^2$ ,而绿色的“中心”为 488  $\text{cd}/\text{m}^2$ ,所以在相同电流下,绿色 LED 的亮度高于红色 LED。因而需要通过调节控制电路,使得在相同的输入电压下通过绿色 LED 电流较小、而通过红色 LED 电流较大,从而尽量保证红色 LED 和绿色 LED 的亮度相当,在实验中,两者的电流分为 14.2 mA 和 11

mA,对应的亮度为 344  $\text{cd}/\text{m}^2$  和 398  $\text{cd}/\text{m}^2$ ,使 LED 透明显示屏整体法光亮度基本均匀。整个透明显示屏的透明度达到了 90%,如图 5 所示。该显示屏在 2 000 h 的连续测试下,能够保证稳定正常显示。



图 5 固定字符型透明显示器工作图

Fig. 5 Image of character mode LED transparent display at working status

柔性可驱动透明显示屏的制作方法和可驱动透明显示屏的制作工艺基本一致。但由于目前市场常用的 ITO 膜柔性透明 PET 材料的表面电阻比较大,在制作可驱动的透明显示屏时,电路的电阻对显示屏的工作电流和能耗会有较大的影响。为了提高显示亮度,实验中选用工作电压较低的红色 LED。图 6 是柔性固定字符型透明 LED 显示屏的实物图。

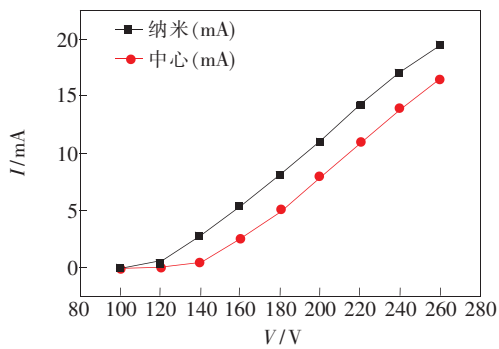


图 3 字符型透明 LED 显示器的  $I-V$  曲线

Fig. 3  $I-V$  properties of character mode LED transparent display

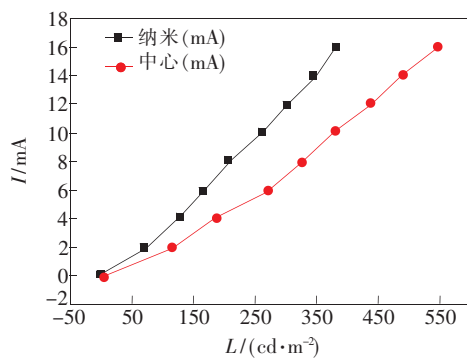


图 4 字符型透明 LED 显示器亮度曲线

Fig. 4 Luminosity properties of character mode LED transparent display

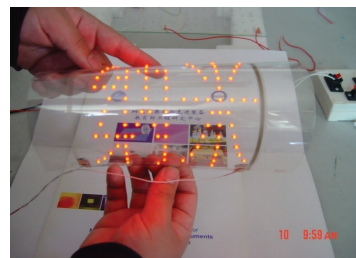
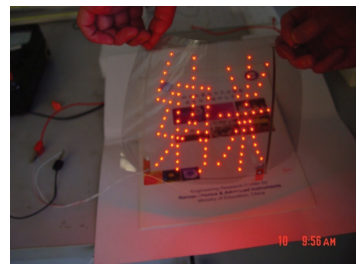


图 6 柔性透明 LED 显示屏实物图

Fig. 6 Images of flexible LED transparent display

实验中,在 PET 衬底上采用红色 LED 实现“纳米”字符的显示,当工作总电压为 220 V,电流仅为 2.7 mA;远低于之前在有 ITO 薄膜的玻

璃上的电流,主要是由于在 PET 材料上的 ITO 薄膜表面电阻较大,使得同样设计电路下,ITO 薄膜的电极损耗较大,而透明度达到了 85%。由此可见,ITO 薄膜的导电率直接影响着透明导电显示屏的工作电流。

#### 4 结论与展望

采用激光刻蚀工艺,在 ITO 导电薄膜上,分别成功制作了非柔性和柔性的透明 LED 显示器模块,并且实现了固定字符显示的透明 LED 显示

屏。在 220 V 的工作电压下,检测电流满足显示器的工作要求,并能够保证透明显示屏的长时间的正常工作。透明 LED 显示器模块的显示效果新颖,同时成本较低,透明度较高,能够满足透明显示器在新时代的新要求,柔性 LED 显示器模块的制作可以作为下一代显示方式的一个研究方向。根据初期的研究结果,利用 ITO 透明电极制作可驱动汉字透明导电 LED 显示屏以及立体显示的即将实现。

#### 参 考 文 献:

- [1] 袁小燕. 浅谈 LED 大屏幕及其发展 [J]. 中小企业管理与科技, 2009, (16): 295-296.
- [2] 李晓颖, 蒋东方, 李云娇. 仪器仪表点阵式 LED 显示屏设计 [J]. 液晶与显示, 2011, 26(6): 764-767.
- [3] Nguyen F. Challenges in the design of a RGB LED display for indoor applications [J]. *Synthetic Metals*, 2001, 122: 215-219.
- [4] Rossi M, Gale M. Micro optics promotes use of LEDs in consumer's goods [J]. *LEDs Magazine*, 2005, (7): 27-29.
- [5] 郑春蕊. 我国 LED 产业发展现状及前景展望 [J]. 产业与科技论坛, 2008, 7(11): 79-80.
- [6] 梁田静, 张方辉, 丁磊. 多层氧化物复合阴极透明 OLED 器件 [J]. 液晶与显示, 2012, 27(1): 43-46.
- [7] 胡凯, 陈禹翔, 李青. 透明显示技术的进展 [J]. 电子器件, 2012, 35(6): 639-646.
- [8] Satoh E, Asaoka Y, Deguchi K, et al. 60-inch highly transparent see-through active matrix display without polarizers [J]. *Journal of the SID*, 2010, 80(2): 1192-1195.
- [9] 应根裕, 胡文波, 邱勇, 等. 平板显示技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002: 340-340.
- [10] Park S K, Ryu M, Yang S, et al. Oxide TFT driving transparent AM-OLED [J]. *Journal of the SID*, 2010, 18(1): 245-248.
- [11] Lee S M, Oh S H, Choi K C. Highly transparent SU-8 photoresist barrier rib for a transparent AC plasma display panel [J]. *Journal of Display Technology*, 2011, 7(1): 40-43.
- [12] Jang C, Kim K, Choi K C. Toward flexible transparent plasma display optical characteristics of low-temperature fabricated organic-based display structure [J]. *IEEE Electron Device Letters*, 2012, 33(1): 74-76.
- [13] 冯魏良, 黄培. 柔性显示衬底的研究及进展 [J]. 液晶与显示, 2012, 27(5): 599-607.
- [14] 周志敏, 周纪海, 纪爱华. LED 驱动电路设计与应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.