

文章编号:1007-2780(2014)04-0521-06

新型 TFT-LCD 黑矩阵的细线化研究

靳福江*, 卢兵, 朱凤稚, 罗峰, 柳星, 代伟男, 刘华, 范峻
(成都京东方光电科技有限公司, 四川成都 611731)

摘要:介绍了新型 TFT-LCD 黑矩阵细线化研究。在原有工艺设备的基础上,突破设备局限和工艺瓶颈,通过引入相掩膜技术和背面曝光设备,达到进一步减小黑矩阵线宽的效果。实验测试结果显示:在普通掩模板设计上应用相位移掩模板技术,降低透光区边缘衍射和散射现象,使曝光后黑矩阵线宽降低 $1.0\sim 1.5\ \mu\text{m}$ 。在原有工艺基础上添加背面曝光工艺,使黑矩阵材料在显影后进行背面曝光预固化,改善黑矩阵图形形貌,进一步减小黑矩阵线宽达到 $0.3\sim 0.5\ \mu\text{m}$ 。通过新工艺和新设备的引入和应用,黑矩阵线宽整体降低 $1.5\sim 2.0\ \mu\text{m}$,达到 $5.0\sim 5.5\ \mu\text{m}$,可以满足目前高 PPI(单位面积像素个数)产品对透过率和对比度要求。

关键词:黑矩阵;线宽;相位移掩模板;背面曝光

中图分类号:TK730.2 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142904.0521

Narrow black matrix for TFT-LCD

JIN Fu-jiang*, LU Bing, ZHU Feng-zhi, LUO Feng, LIU Xing, DAI Wei-nan, LIU Hua, FAN Jun

(Chengdu BOE Optoelectronics Technology CO., LTD., Chengdu 611731, China)

Abstract: The new study of black matrix thinner for TFT-LCD was presented in this paper. Based on the normal process technology, breaking through the limits of equipments and process bottlenecks, the affection of thinner black matrix critical dimension was worked out by adding phase shift mask and back exposure. The results show that black matrix critical dimension could be reduced $1.0\sim 1.5\ \mu\text{m}$ by applied on phase shift mask that decreased the diffraction of transmission edge area. Because the back exposure technology could cure the black matrix material, the black matrix critical dimension was reduced $0.3\sim 0.5\ \mu\text{m}$. By the new technology and equipment applied, the black matrix critical dimension was decreased $1.5\sim 2.0\ \mu\text{m}$ at total, which meets the requirements of high quality transmit and contrast.

Key words: black matrix; critical dimension; phase shift mask; back exposure

1 引言

目前,液晶显示行业迅速发展,在市场需求的导向下,液晶显示面板正朝着高分辨率、高开口率的方向飞速发展。为达到液晶显示面板高分辨

率、高开口率的发展要求,首先要求增大透光区域^[1-3]。而增大透光区主要影响因素是降低液晶面板中起挡光作用的黑矩阵线宽。通过大量实验表明,黑矩阵线宽每下降 $0.5\ \mu\text{m}$,产品开口率可以提升 0.5% 。

光刻法制作彩膜中黑矩阵,主要有清洗烘干、

涂覆光刻胶、前烘、对准曝光、显影、后烘等工艺制程^[4-7]。在现有彩膜接近式曝光设备极限制作能力无法提高的前提下,使用现有工艺设备如何进一步制作出更小黑矩阵线宽的彩膜基板,是一个全新的研究和探索方向。结合当前市场上对于显示产品中关键参数:每英寸所拥有的像素数目(Pixels per inch, PPI)的追求,所以本文主要针对影响高品质显示的高 PPI 的黑矩阵细线化制作工艺,进行实验和研究。

2 实 验

2.1 实验内容

2.1.1 设备改造实验

接近式曝光机光路系统主要由光源、聚光镜、蝇眼,反射平面镜等主要部件构成(如图 1 所示)。黑矩阵线宽尺寸受光线发散角影响,相同条件下减小光线发散角可减小黑矩阵线宽。本实验主要通过曝光机光路中蝇眼后添加带孔挡光板,将光路周边光线发散角较大的光线屏蔽,以达到改善光线发散角的作用。实验曝光机型号为 Hitachi LE800A。添加挡光板后光线垂直落在掩模板上的发散角由 1.5° 变为 1.0° 。

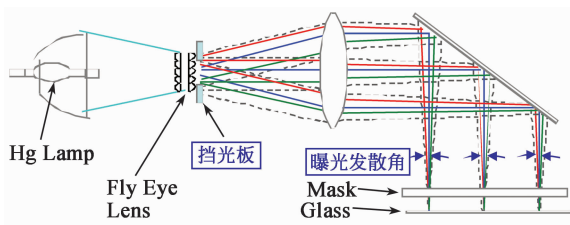


图 1 曝光机光路挡光板添加示意图

Fig. 1 Exposure system adding aperture

在相同工艺条件下,使用通用线宽为 $5.5 \mu\text{m}$ 掩模板,分别使用正常曝光模式和添加挡光板曝光模式进行曝光,测试最终形成的黑矩阵线宽,如表 1 所示。

表 1 不同曝光模式下实验条件

Tab. 1 Experiment statistic of two exposure mode

组别	曝光量/mJ	间隔/ μm	曝光模式
实验组	85	100	使用挡光板
对比组	85	100	正常式

2.1.2 背面曝光工艺实验

彩膜光刻工艺流程一般工艺为:曝光→显影→烘烤固化。本实验在显影完成后,增加一道基板背面紫外照射工艺,进行高温烘烤前紫外预固化处理,如图 2 所示。

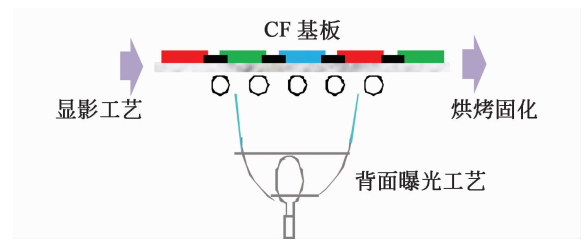


图 2 背面曝光工艺示意图

Fig. 2 Back exposure technology

本实验在相同工艺条件下,使用通用线宽为 $5.5 \mu\text{m}$ 掩模板,分别使用正常工艺流程与不同曝光量下的背面曝光工艺进行实验对比,测试最终形成的黑矩阵线宽,实验条件如表 2 所示。

表 2 不同工艺条件下实验条件

Tab. 2 Experiment statistic of different technology

组别	工艺流程
实验组	显影→背面曝光→烘烤固化
对比组	显影→烘烤固化

2.1.3 相位掩模板使用实验

本实验使用通用线宽为 $5.5 \mu\text{m}$ 掩模板和线宽为 $9.0 \mu\text{m}$ 的相位掩模板(Phase Shift Mask, PSM)进行实验,在相同黑矩阵图形设计基础上,测试不同掩模板下黑矩阵线宽。

2.2 测试内容

2.2.1 黑矩阵线宽测试

实验采用测长机,型号为 Mercury5000S,测试实验彩膜基板黑矩阵线宽。

2.2.2 宏观检查

实验采用宏观检查设备检查不同实验条件下彩膜基板的宏观情况。型号为 MAS7392,光源为金属卤素灯,功率为 250 W。

2.2.3 微观检查

实验采用检查修复设备检查不同实验条件下彩膜基板黑矩阵工艺后微观情况。型号为 Jupiter 7392-WSTLT3RVR-HG。光源为金属卤素灯,功率为 100 W。

3 结果与讨论

3.1 曝光机挡光板使用实验结果

曝光机使用挡光板与相同曝光模式下实验对比,黑矩阵线宽测试结果如表 3。

表 3 不同曝光模式实验测试结果

Tab. 3 Experiment statistic of two exposure mode

曝光模式	线宽/ μm	宏观检查	微观检查
挡光板	5.83	边框泛白	膜层损伤
正常	6.12	正常	正常

通过以上实验表明,虽然使用挡光板可以在一定程度上减小黑矩阵线宽,但存在缺点是添加挡光板遮挡光路后会曝光照度降低,从未装挡光板 $23 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 降至 $15 \text{ mW}/\text{cm}^2$,导致黑矩阵膜层紫外固化层太薄,经过显影工艺时造成膜层损伤,厚度降低,如图 3 所示。

从图 3 和图 4 对比分析,低照度条件下,黑矩阵光刻胶中光感光剂对于光能量接收不足,导致

不能充分将其分子中的双键被打开,链与链之间交联,形成的不溶性的网状结构不稳定。经过显影后,膜层发生损伤,厚度发生降低。

3.2 背面曝光工艺实验结果

增加背面曝光预固化工艺与正常工艺实验对比,黑矩阵线宽测试结果如表 4。

表 4 不同工艺实验结果

Tab. 4 Experiment statistic of different technology

工艺条件	线宽/ μm	宏观检查	微观检查
背面曝光	7.86	正常	正常
正常工艺	8.32	正常	正常

通过以上实验表明,增加背面曝光工艺后可以减小黑矩阵线宽约 $0.3\sim 0.5 \mu\text{m}$,并且宏观及微观检测未发现不良。为证实背面曝光工艺可行性,我们对黑矩阵膜层进行一步分析图形微观形貌。图 5 和图 6 是不同工艺间黑矩阵膜层微观情况。

结果显示,使用背面曝光工艺后,不但可以减

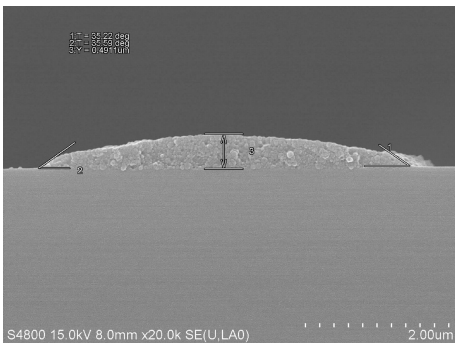


图 3 照度 $15 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 下,损伤黑矩阵膜层

Fig. 3 Damaged black matrix layer at $15 \text{ mW}/\text{cm}^2$

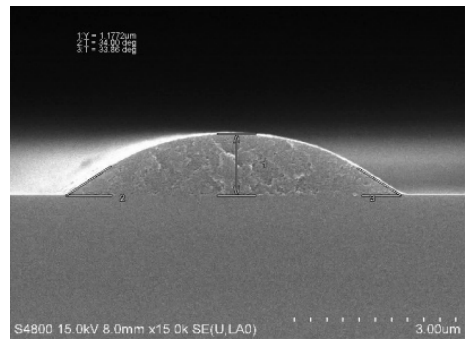


图 5 正常工艺下黑矩阵图形横截面图

Fig. 5 Black matrix layer sectional view

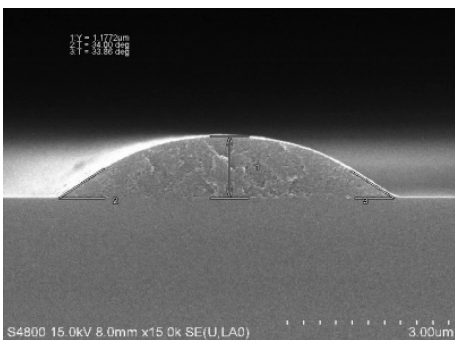


图 4 照度 $23 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 下,正常黑矩阵膜层

Fig. 4 Normal black matrix layer at $23 \text{ mW}/\text{cm}^2$

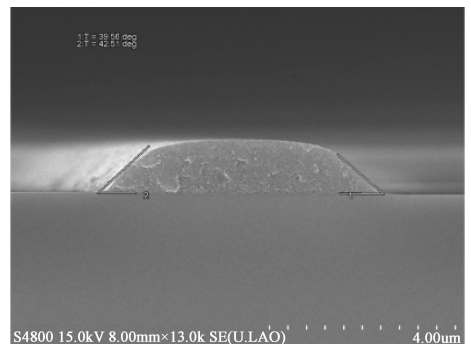


图 6 背面曝光工艺下黑矩阵图形横截面

Fig. 6 Black matrix layer sectional view

小黑矩阵线宽 0.3~0.5 μm,还可以进一步增大黑矩阵图形坡度角,改善黑矩阵形貌。

3.3 相移掩模板使用实验结果

普通掩模板与 PSM 对比实验,黑矩阵线宽测试结果如表 5。

表 5 普通掩模板与 PSM 实验结果

Tab.5 Experiment statistic of normal mask and PSM

工艺条件	线宽/μm	掩模板线宽/μm	线宽偏差
PSM	5.86	9.0	-3.5
普通掩模板	7.12	5.5	1.5

结果显示,在不同种类掩模板使用下,黑矩阵线宽差异明显。PSM 使用可以减小黑矩阵线宽 1 μm 以上。掩模板设计线宽与黑矩阵形状实际线宽差异(线宽 Bias)从普通掩模板的 1.5 μm 降低至 PSM 的 -3.5 μm。

3.4 黑矩阵细线化工艺改善原理

3.4.1 背面曝光工艺线宽改善原理

受黑矩阵层本身不透光特性影响,传统工艺中,曝光过程中仅光刻胶上表面发生紫外固化,光刻胶下层未完全受紫外照射。曝光、显影过程中将光刻胶下层部分刻蚀,使显影后黑矩阵图形大致呈倒梯形状^[8-9],如图 7~8 所示。基板最终进行烘烤固化过程时,两侧光刻胶熔融沉降,导致黑矩阵形貌改变,呈梯形状,黑矩阵线宽增大。具体过程如图 9 所示。

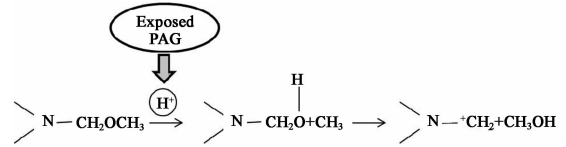


图 7 曝光反应

Fig.7 Exposure reaction

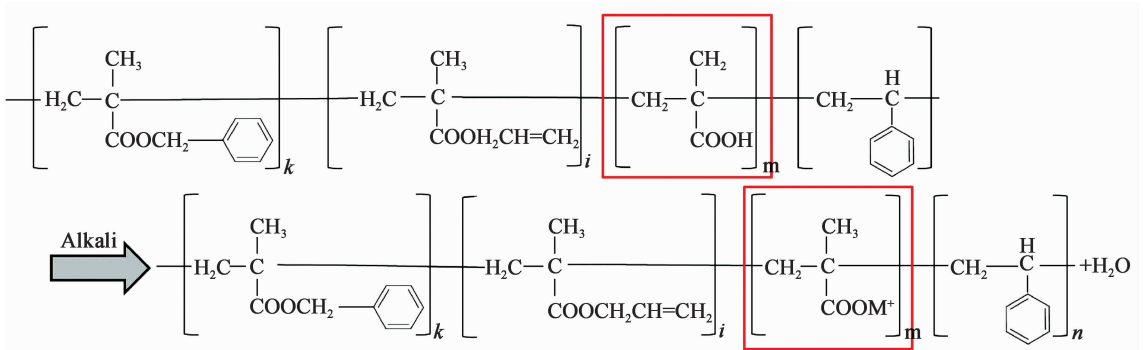


图 8 显影反应

Fig.8 Develop reaction

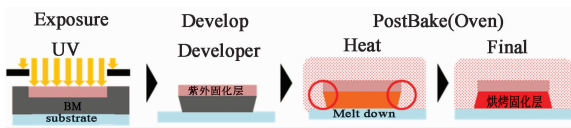


图 9 传统工艺流程示意图

Fig.9 Normal technology process

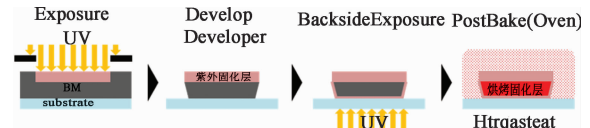


图 10 背面曝光工艺流程示意图

Fig.10 Back exposure technology process

在显影后增加背面曝光工艺,使彩膜基板背面先进行一次紫外照射固化,使黑矩阵图形固定,最后再进行烘烤固化,防止在烘烤过程中两侧光刻胶熔融沉降过大,达到改善黑矩阵形貌的效果,从而降低黑矩阵线宽。具体过程如图 10 所示。

3.4.2 PSM 线宽改善原理

普通掩模板曝光过程中,由于图形边缘散射会降低整体的对比度,导致有效曝光区域内曝光

能量分布不均^[10],所得黑矩阵形貌呈一定角度坡度角,如图 11(a)所示。PSM 的基本原理是利用通过不带相移层区的光线,如图 11(b)所示,和通过带相移层区(移相器、光线相位产生 180°的移动光线,如图 11(c)所示,两者之间光波因相位不同产生相消干涉,抵消了限制光学系统分辨率的衍射效应,得到曝光能量跃变的有效曝光区域^[11-12]。形成如图 11(d)所示,坡度角较大形貌。

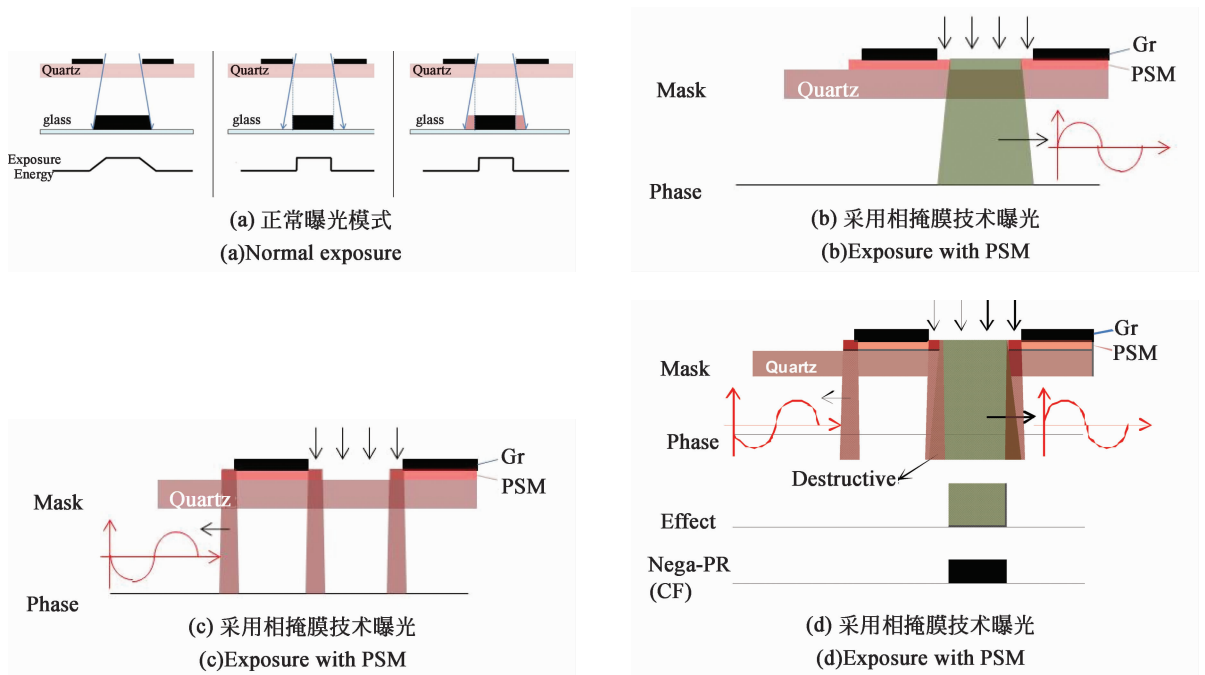


图 11 PSM 曝光原理示意图

Fig. 11 PSM exposure mechanism

4 结 论

在不改变彩膜现有工艺设备前提下,通过工艺调整,达到了突破原有设备极限能力,进一步减小黑矩阵线宽的效果。通过使用背面曝光工艺,在显影完成后增加背面紫外固化,防止黑矩阵图

形在烘烤固化过程中发生形变,可减小黑矩阵线宽 $0.3\sim 0.5\ \mu\text{m}$,并且改善黑矩阵形貌;通过使用 PSM,改善曝光效果,可进一步减小黑矩阵线宽 $1\sim 1.5\ \mu\text{m}$,最终达到使黑矩阵线宽减小的效果。通过以上背曝光工艺和 PSM 技术共同应用,可以使得黑矩阵线宽降低 $1.5\sim 2.0\ \mu\text{m}$,最终实现高精度产品高品质要求。

参 考 文 献:

- [1] Zimmerman N M. A simple fabrication method for nanometer-scale thin-metal stencils [J]. *J. Vac. Sci. Technol. B*, 1997, 15(2): 369-372.
- [2] 黄子强. 液晶显示原理[M]. 北京:国防工业出版社, 2008: 142-148.
Hang Z Q. *Principle of Liquid Crystal Display* [M]. Beijing: National Defense industry Press, 2008: 142-148. (in Chinese)
- [3] 靳福江. 彩膜基板和液晶显示面板: 中国, 201936101U [P]. 2010-08-17.
JIN F J. The color filter and the liquid crystal display panel: China, 201936101U [P]. 2010-08-17. (in Chinese)
- [4] Bocko P L, Eid B A, Johnson R E, et al. Method for printing a color filter: US, 5544582 [P]. 1996-08-13.
- [5] 张卓, 何璇, 李琳. 颜料分散用树脂的合成及性能研究[J]. *液晶与显示*, 2010, 25(4): 481-485.
Zhang Z, He X, Li L. Synthesis and performance of polyacrylate resin used on pigment-dispersion [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(4): 481-485. (in Chinese)
- [6] 山田善昭. 彩色滤光片的制法及其制造装置、电光学装置、电子仪器: 中国, 200810002842. 5 [P]. 2005-02-02.
Yamada Shanaki. Method for producing a color filter, apparatus for manufacturing a color filter, electrooptic apparatus, and electronic device: China, 200810002842. 5 [P]. 2005-02-02. (in Chinese)
- [7] 王刚, 杨虹, 凌志华, 等. 高开口率 TFT LCD 的黑矩阵设计[J]. *液晶与显示*, 1999, 14(3): 162-165.

- Wang G, Yang H, Ling ZH H, *et al.* Design of black matrix for TFT LCD with high aperture ratio [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 1999, 14(3):162-165. (in Chinese)
- [8] 董小春, 杜春雷. 负性光刻胶刻蚀工艺研究[J]. *光子学报*, 2003, 35(12):1422-1425.
Dong X C, Du C L. Study on lithography of negative resists [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 12(35):1422-1425. (in Chinese)
- [9] 唐雄贵, 姚欣, 郭永康, 等. 烘焙工艺条件对厚胶光刻面形的影响[J]. *微细加工技术*, 2005(3):31-35.
Tang X G, Yao X, Guo Y K, *et al.* Effect of baking process condition on surface profile of lithography for thick film resists [J]. *Microfabrication Technology*, 2005(3):31-35. (in Chinese)
- [10] 肖星星, 陈跃刚. 金属层亚波长狭缝中光波耦合[J]. *发光学报*, 2009, 30(5):682-685.
Xiao X X, Chen Y G. Investigation of optical wave coupling between two subwavelength slits in metallic sheet [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2009, 30(5):682-685. (in Chinese)
- [11] 陈良尧, 陈岳瑞, 戴仲鸿, 等. 可见光波在天然金属基界面正负折射机理的研究和进展[J]. *发光学报*, 2008, 29(5):757-761.
Chen L Y, Chen Y R, Dai Z H, *et al.* Recent progress of the researches on the positive and negative refractions of the visible light propagating at the metal-based interface [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2008, 29(5):757-761. (in Chinese)
- [12] 彭力, 陈友篷, 尤春, 等. 先进相移掩模(PSM)工艺技术[J]. *电子与封装*, 2010, 10(9):41-45.
Peng L, Chen Y P, You CH, *et al.* Advanced phase shift mask technology [J]. *Electronics & Packaging*, 2010, 10(9):41-45. (in Chinese)

作者简介:靳福江(1981—),男,四川成都人,高级工程师,主要研究方向为 TFT-LCD 相关工作。E-mail:mingqi_319@163.com