

文章编号:1007-2780(2015)02-0246-05

# 高分辨率显示用小孔设计技术

曲连杰<sup>1\*</sup>, 郭建<sup>1</sup>, 史大为<sup>1</sup>, 陈旭<sup>1</sup>, 闵泰烨<sup>1</sup>, 杨莉<sup>2</sup>

(1. 北京京东方光电科技有限公司, 北京 100176;

2. 北京京东方科技集团股份有限公司, 北京 100176)

**摘要:**为了满足市场对显示产品高分辨率的要求, 需要从产品的设计和工艺各个方面进行优化, 其中过孔尺寸和线宽两个因素对阵列基板分辨率影响最大, 本文通过相移掩模技术可以实现对过孔尺寸的精确控制, 通过在普通过孔上增加一定厚度和透过率的相移层, 并对各种参数下过孔的光透过率进行模拟分析, 可以获得不同相移层参数对过孔特性的影响, 最后提出一种可以获得稳定微小过孔的方法。结果表明, 通过对相移层透过率和宽度的控制, 可以获得对曝光光强不敏感的稳定微小过孔, 曝光量增大一倍乃至数倍的过程中, 过孔尺寸始终保持稳定, 提高了工艺容忍度。对于模拟中过孔尺寸可以小于设备的  $4\ \mu\text{m}$  分辨极限。通过减小过孔尺寸, 可以有效提升 TFT 显示产品的开口率, 实现产品对高分辨率的要求。

**关键词:**薄膜晶体管液晶显示器; 过孔; 高分辨率

**中图分类号:** O436.1; TN32; TN27 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20153002.0246

## Tiny hole design for high resolution display

QU Lian-jie<sup>1\*</sup>, GUO Jian<sup>1</sup>, SHI Da-wei<sup>1</sup>, CHEN Xu<sup>1</sup>, MIN Tai-ye<sup>1</sup>, YANG Li<sup>2</sup>(1. *Beijing BOE Optoelectronics Technology Co., Ltd., Beijing 100176, China;*2. *Beijing BOE Technology Group Co., Beijing 100176, China*)

**Abstract:** In order to meet the requirements of the market for high resolution display products, the design and process technologies of products should be optimized. The most important factors affecting the product characteristics are the size of through-hole and line width. This article explains how to control the exact size of the tiny hole by using phase shift mask technology. By adding a phase shift layer with a certain thickness and transmittance onto the usual through-hole, the light transmittance of tiny hole is analyzed under different parameters. It can be obtained the relation between the transmittance and parameter of phase shift layer, and it can infer a control solution to get a tiny hole with stable size. The results show that, by the control of transmittance and the width of the phase shift layer, a stable size of tiny hole can be obtained with the property of insensitive to the exposure dose. When the exposure dose doubled or even several times in the process, the tiny hole size remains a stabilized value. It means a higher process tolerance. The size of the tiny hole could even be less than the device's resolution limit ( $4\ \mu\text{m}$ ). By reducing the size of through-hole, we can effectively increase the

收稿日期: 2014-07-09; 修订日期: 2014-08-07.

\* 通信联系人, E-mail: qulianjie@gmail.com

aperture ratio of TFT products and get higher PPI(pixel per inch)products.

**Key words:** TFT LCD;through-hole;high PPI

1 引 言

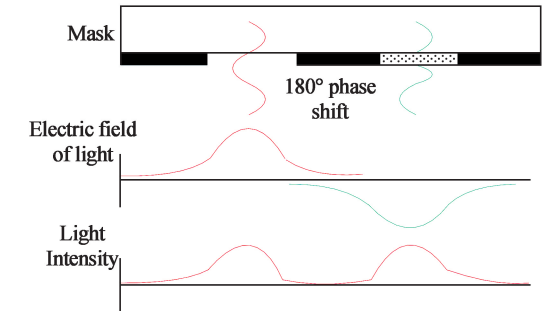
近年来,液晶显示器由于具有轻薄,亮度高,功耗低等优点被广泛应用于日常生活中。随着社会的发展和人民生活水平的逐步提高,对液晶显示器的需求也快速增长,对产品的需求也从传统的电视,计算机显示器等过渡到手机、移动显示等小尺寸产品上。对产品特性的要求也不断提高,例如:高开口率,高分辨率,节能环保等<sup>[1-2]</sup>。开口率的提升对低能耗和液晶显示器亮度的提升有很大的作用,而高分辨率需要 TFT 和 CF 具有更小的特征尺寸<sup>[3]</sup>。苹果提出来的视网膜技术对产品分辨率要在 400 ~500 PPI。为了实现高分辨率产品,需要液晶显示产品的 TFT 具有更窄的线宽和更小的过孔尺寸。

本文提出了一种掩模设计技术可以实现更小的过孔。通过在普通过孔周边引入相移层,可以获得工艺尺寸稳定的过孔,从而实现高开口率和高 PPI 的产品。

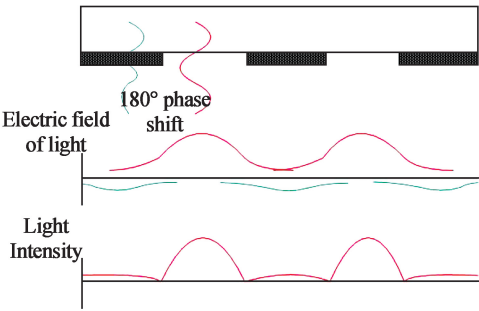
2 微孔设计理论

为了获得比较窄的线宽,设计和工艺人员提出了一系列的掩模设计技术,其中相移掩模技术就是其中的一种。相移掩模技术可以在不损失焦深(DOF)的情况下提高设备的分辨率<sup>[4-7]</sup>。此外,在实际工艺中,相对于 Cr 掩模板,相移掩模技术还可以在在一定程度上增加焦深。

相移掩模技术的原理如图 1 所示。



(a)交替孔径相移掩模



(b)掩埋衰减相移掩模

图 1 相移掩模设计原理

Fig. 1 Design principle of phase shift mask technology

相移掩模技术方案之一称之为交替孔径相移掩模技术,如图 1(a)所示;另一种称之为掩埋衰减相移掩模技术,如图 1(b)。光是一种带有强度和位相的电磁波。曝光过程中的光刻胶受到的光强正比于光波振幅的 1/2 次方。由于光的衍射效应,在过孔或者线的边界处会发生光波延展。当位于同一个边界处的两个位相 180°相反的光波相遇时,会发生光学相消效应。在该处的光强可以达到零,从而获得极小光强。

通常,相移掩模技术应用于窄线宽的实现。在本文中,我们利用相移掩模技术形成微小过孔。微小过孔的光学特性受一些参数的影响,例如,相移层的透过率、宽度以及曝光光强等,后面有比较详细的分析。

微小过孔的结果如图 2 所示。过孔中心宽度为  $W$ 。相移层围绕在过孔的周围,宽度为  $S$ ,透过率为  $T$ 。我们可以称之为相移过孔。

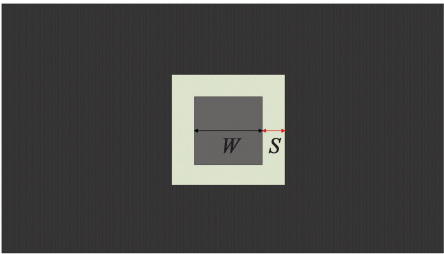


图 2 相移过孔设计原理图

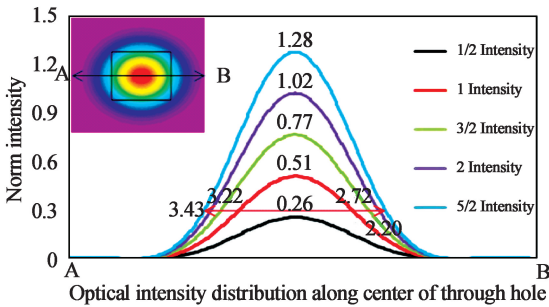
Fig. 2 Structure of through hole with phase shift layer

3 设计参数对过孔特性分析

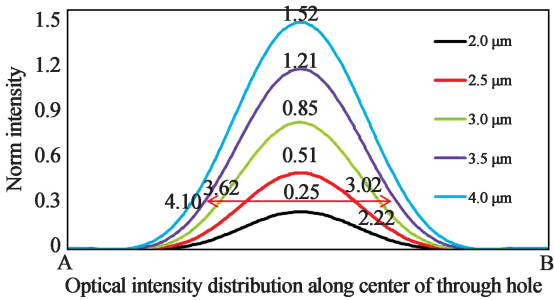
使用二维光学模拟器,可以获得过孔处的光透过率分布。通过计算沿着过孔中心直径的光强分布,可以有助于对过孔设计的结果进行分析。相移层宽度和透过率以及曝光光强对相移过孔的影响特别大,后面将对这些影响因素进行分析。

3.1 一般过孔特性分析

首先我们分析普通过孔的光学特性,对于普通过孔,曝光强度和过孔直径对过孔特性影响最大。



(a)不同曝光光强下的过孔光强度分布



(b)不同尺寸的过孔光强度分布

图 3 普通过孔光强度分布特性

Fig. 3 Optical characteristic of normal through hole

图 3(a)为过孔大小  $W = 2.5 \mu\text{m}$  的光强分布。不同曲线代表不同的曝光强度下沿着过孔中心的光强分布,光强分布平面图以及光强分布曲线路径如图 3(a)左上角小图。从曝光量以及过孔中心的光强数据可以得出结论,通过中心孔的光强度与入射光强度成正比。为了进行定量分析,我们把 PR(光刻胶)成型时需要的光强度定为  $0.3 \text{ W}/\text{cm}^2$ 。

当入射光强为  $0.5 \text{ W}/\text{cm}^2$  时,位于过孔中心处的光强为  $0.26 \text{ W}/\text{cm}^2$ ,也就是说该光强不足

以在光刻胶上形成图形。对于曝光光强为  $1 \text{ W}/\text{cm}^2, 1.5 \text{ W}/\text{cm}^2, 2.0 \text{ W}/\text{cm}^2$  以及  $2.5 \text{ W}/\text{cm}^2$  时,计算得到对应的光刻胶图形过孔大小为  $2.22 \mu\text{m}, 2.72 \mu\text{m}, 3.22 \mu\text{m}$  和  $3.43 \mu\text{m}$ 。在低曝光强度下,光刻胶上的过孔直径对曝光光强变化比较敏感,但是当曝光光强比较强时,过孔直径对曝光光强的变化敏感性降低。

在图 3(b)中,我们计算了在相同的曝光光强下,具有不同尺寸的过孔的透过率曲线。当过孔尺寸分别为  $W = 2.0 \mu\text{m}, 2.5 \mu\text{m}, 3.0 \mu\text{m}, 3.5 \mu\text{m}, 4.0 \mu\text{m}$  时,在光刻胶上形成的过孔大小为  $0 \mu\text{m}, 2.22 \mu\text{m}, 3.02 \mu\text{m}, 3.62 \mu\text{m}, 4.1 \mu\text{m}$ 。当掩模版上的过孔直径小于设备的分辨力时,在光刻胶上的过孔大小对  $W$  较敏感。而当  $W$  比设备的分辨力大时,在光刻胶上形成的过孔尺寸接近于掩模设计的过孔大小。

在实际应用中,微小孔的形成意味着较低的曝光光强,同时,小尺寸过孔对曝光量非常敏感,实际工艺中非常容易发生无过孔的现象,对工艺的稳定性及均匀性要求非常高。

3.2 相移层对过孔特性的影响

相移层的引入,可以在过孔的周边形成一个光消逝区,从而达到限制过孔在光刻胶上投影大小的目的。此外,具有一定透过率的相移层还能对过孔中心的光透过率进行补偿,相对于普通过孔达到在一定曝光光强下增大过孔尺寸的目的。对于相移层,有 3 个主要因素影响过孔的特性,分别是相移层的宽度、相移层的透过率与曝光光强。

3.2.1 相移层透过率对过孔特性的影响

首先在此分析了不同透过率的相移层对过孔的光学特性的影响。曝光入射光在过孔和相移层边界有  $180^\circ$  位相的反转。

沿着过孔直径的光强分布如图 4 所示。相移层的透过率为  $10\%, 25\%, 50\%, 75\%$  和  $100\%$ 。当透过率为  $100\%$ ,这意味着,相移层完全透明的。相移层的宽度  $S = 1 \mu\text{m}$ ,过孔直径  $W$  设置为  $2.5 \mu\text{m}$ 。可以看出相移层内的光强度随着相移层透过率的增加而增加。当透过率接近  $100\%$ ,相移层内的光强度高于过孔中心的光强。同时,透过率增加,过孔中心的光强波形范围也越来越小,甚至小于周边相移层内的光强波形,也就意味着,有着较大透过率的相移层,会导致相移层在光刻胶上成型,并且对应的尺寸大于过孔中心形成

的过孔尺寸,形成一个环形结构。因此,要形成比较好的过孔,要用较低的透过率的相移层。

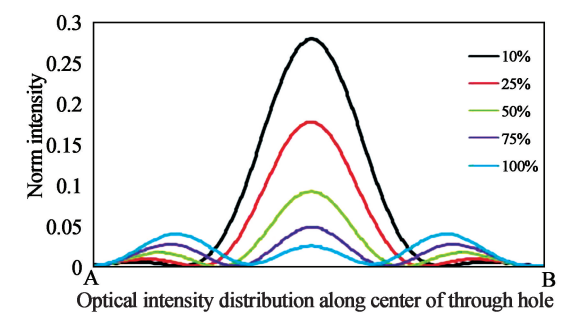


图 4 不同透过率的相移层对过孔特性的影响  
Fig. 4 Optical characteristic of through hole using phase shift layer with different transmittance

3.2.2 相移层宽度对过孔特性的影响

同样,相移层的宽度也会影响过孔内的光强分布。因此有必要研究一下相移层宽度对过孔的光学特性的影响。过孔的直径为 2.5 μm,对应的相移层透过率为 25%,相移层有 180°反相作用。

不同相移层宽度下,沿着过孔中心的光学透过率曲线如图 5 所示。随着相移层宽度的增加,相移层内的光能量不断增加,当相移层宽度足够大时,相移层内光透过率有超过过孔中心的趋势并且能够在光刻胶上成形。因此,合适宽度的相移层对过孔的设计相当必要。

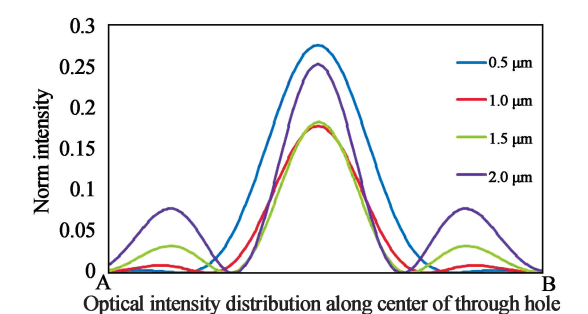


图 5 不同相移层宽度对过孔特性的影响  
Fig. 5 Optical characteristic of through hole using phase shift layer with different width

随着相移层宽度的增加,过孔中心处的光强先减小然后增大。虽然对于 1.0 μm 和 1.5 μm 宽度的相移层,过孔中心处的光强相同,但是 1.5 μm 宽度的相移层过孔中心透过率曲线的坡度角比 1.0 μm 宽度的相移层要大。因此,通过选取合适的相移层宽度,可以获得合适的过孔尺寸。

3.2.3 曝光量对过孔特性的影响

在前面对普通过孔的光学特性分析中,当过孔的尺寸小于或接近于曝光设备的分辨极限时,过孔在光刻胶上的图形对曝光光强非常敏感。在此,我们继续分析在不同曝光光强下,带有相移层的过孔的光学特性。

图 6 是不同曝光能量下相移过孔的光学透过率曲线图。曝光能量分别为 0.5 W/cm², 1 W/cm², 1.5 W/cm² 和 2 W/cm²。过孔直径为 2.5 μm,相移层宽度分别为 1 μm 和 1.5 μm。

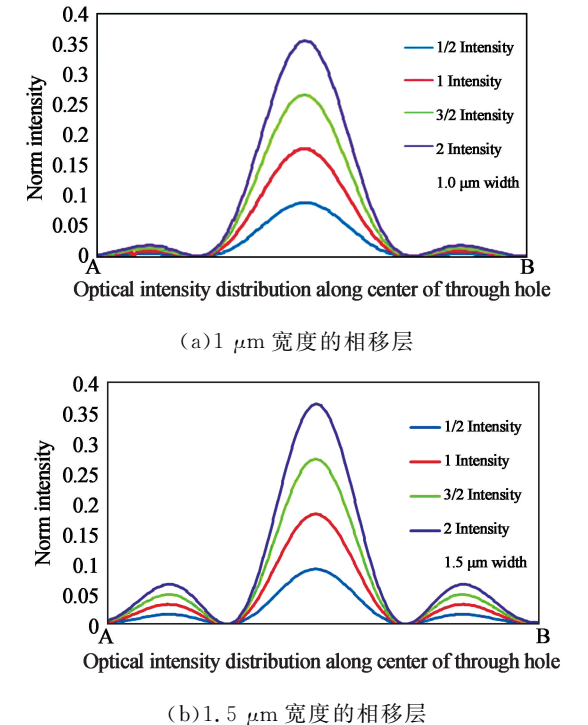


图 6 不同曝光能量对过孔特性的影响  
Fig. 6 Optical characteristic of through hole using different incident light intensity

过孔的大小定义为沿着过孔中心最小透过率之间的距离,如图 6 所示。对于具有 1 μm 宽度的相移层,当透过率为 25%时,在不同的曝光能量下,过孔的大小都是 4.6 μm。如图 6(a)所示,在过孔中心处的光强分别为 0.089 W/cm², 0.178 W/cm², 0.266 W/cm², 0.355 W/cm²,正比于曝光能量。

此外,在前面的分析中,随着相移层宽度的增加,相移层内的光能量不断增加。当相移层宽度为 1.5 μm 时,如图 6(b)所示,不同曝光能量对应着相同的过孔大小 3.8 μm。在过孔中心处的光

强分别为 0. 090 W/cm<sup>2</sup>, 0. 180 W/cm<sup>2</sup>, 0. 273 W/cm<sup>2</sup>, 0. 364 W/cm<sup>2</sup>, 该强度正比于曝光光强。相对于 1 μm 宽度的相移层, 过孔中心处光能量增加了 1%~3%, 但是在相移层内的最大光强增加了 4 倍。同时还可以发现过孔尺寸相对减少了 0. 8 μm, 也意味着增大相移层宽度可以减少中心过孔的尺寸。

随着相移层宽度的增加, 对过孔内光强提升有限, 然而相移层内光强将明显增大, 在实际的应用过程中, 通过选择合适的相移层宽度可以获得对曝光剂量不敏感的稳定尺寸过孔。

4 结 论

本文提供了一种过孔设计的理论指导规则。通过在过孔周边的相移层引入, 过孔的尺寸可以得到很好的限制, 并获得超小过孔(<4 μm 设备分辨率), 同时为了得到对曝光剂量不敏感的稳定尺寸过孔, 可以通过选择较低透过率的相移层和较窄宽度的相移层实现。这样可以实现对过孔尺寸的精确控制, 减少过孔尺寸在工艺中的波动, 实现高分辨率产品。

参 考 文 献:

[1] 刘亮, 王向楠, 赵德友, 等. TFT-LCD 移动显示窄边框技术进展[J]. 液晶与显示, 2013, 28(2): 228-232.  
Liu L, Wang X N, Zhao D Y, et al. Slim border trend of TFT-LCD mobile display panel [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(2): 228-232. (in Chinese)

[2] Rolland J P, Yoshida A, Davis L D, et al. High-resolution inset head-mounted display [J]. *Applied Optics*, 1998, 37(19): 4183-4193.

[3] Choi S, Shim H, Chang N. Low-power color TFT LCD display for hand-held embedded systems [C]. *International Symposium on Low Power Electronics and Design*, 2002: 112-117.

[4] Bonggu S, Samuel E S, Alexander L G. Loss of phase of collapsing beams [J]. *Physical Review Letters*, 2012, 108: 043902.

[5] 黎午升, 惠官宝, 崔承镇, 等. 在镜像投影曝光机上使用相移掩膜提高解像力的初步研究[J]. 液晶与显示, 2014, 29(4): 544-547.  
Li W S, Hui G B, Choi S J, et al. Preliminary study on improving resolution on mirror projection mask aligner with phase shift mask [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(4): 544-547. (in Chinese)

[6] 罗先刚, 姚汉民, 周冲喜, 等. 可提高光刻分辨率的新技术[J]. 光学学报, 2000, 29(9): 834-837.  
Luo X G, Yao H M, Zhou C X, et al. New technology which can improve lithography resolution [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2000, 29(9): 834-837. (in Chinese)

[7] 冯伯儒, 陈宝钦. 边缘相移掩模技术[J]. 光电工程, 1997, 24: 12-17.  
Feng B R, Chen B Q. Edge phase shift mask technology [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 1997, 24: 12-17. (in Chinese)

作者简介: 曲连杰(1982—), 男, 黑龙江安达人, 硕士, 工程师, 主要从事与液晶显示器相关的技术研发工作。E-mail: qu-lianjie@gmail.com