

文章编号:1007-2780(2019)10-0977-05

## PS 光阻顶部凹陷问题研究

张 宇, 陈珍霞\*, 侯伟康, 陈黎暄

(深圳市华星光电技术有限公司, 广东 深圳 518132)

**摘要:**随着对液晶显示器高分辨率的需求不断增长,像素设计的尺寸越来越小,分布在像素上方起支撑作用的柱状隔离子(Photo Spacer)尺寸也不断减小。柱状隔离子的顶部面积与底部面积的比值变大,提高了耐压能力,但对制程中柱状隔离子图案化的形状控制能力提出了更高的要求。在目前的材料和制程条件下,精细化的形状存在一些工艺问题,其中最典型的是顶部凹陷问题。基于以上问题,对 PS 凹陷进行研究;引进半导体行业中应用广泛的曝光显影模拟软件进行曝光光型分布模拟及理论分析,提出降低曝光间隙进行改善,经实验验证凹陷得到改善。实验结果表明,减小曝光间隙,由  $250\ \mu\text{m}$  降低到  $150\ \mu\text{m}$ ,可以有效改善 PS 顶部凹陷的问题。通过减小曝光间隙,可以改变曝光光束,即高斯光束的空间分布,从而改变 PS 光阻受光分布,进而改变 PS 最终形状,即改善 PS 顶部凹陷问题;且高斯光束的空间分布,可通过曝光显影模拟得到,可见曝光显影模拟可分析和预估实验结果,且为问题改善提出可行的意见。

**关键词:**液晶显示器;分辨率;光阻;顶部;凹陷;高斯分布

**中图分类号:** TN27      **文献标识码:** A      **doi:** 10.3788/YJYXS20193410.0977

## Study on the top concave of PS photoresistor

ZHANG Yu, CHEN Zhen-xia\*, HOU Wei-kang, CHEN Li-xuan

(Shenzhen China Star Optoelectronics Technology Co., Ltd., Shenzhen 518132, China)

**Abstract:** The LCD is mainly composed of two substrates and the liquid crystal in the middle. Among them, photo spacer is an important part which is placed on the bottom substrate and sustains the upper substrate. As the trend of higher and higher resolution of the display, there is a need for accurate controlling of morphology of the photo spacer in mass process. In this paper, we pay attention to one of the most common issue of very small size photo spacer that the top of it suffers concave surface which influences the supporting capacity of the photo spacer. In order to improve the problem of concave, this paper proposes to reduce the exposure gap through optical simulation and theoretical analysis, which has been verified by experiments. The results show that the spatial distribution of the Gauss beam can be changed by reducing the exposure gap, and the problem of PS top depression can be improved. Exposure pattern distribution simulation and theoretical analysis were carried out by using exposure development simulation software. It was proposed that the exposure gap should be reduced, and the experiment verified that the depression could be improved. The experimental results show that

收稿日期:2019-04-19;修订日期:2019-06-30.

\* 通信联系人, E-mail: chenchenxia@tcl.com

reducing the exposure gap from  $250\ \mu\text{m}$  to  $150\ \mu\text{m}$  can effectively improve the problem of PS top depression. By reducing the exposure gap, the spatial distribution of the exposure beam, i.e. the Gauss beam, can be changed, thus the distribution of the photoresist of PS can be changed, and the final shape of PS can be changed, i.e. the problem of depression at the top of PS can be improved; and the spatial distribution of the Gauss beam can be obtained by the simulation of exposure development. The simulation of exposure development can analyze and predict the experimental results, and provide feasible suggestions for the improvement of the problem.

**Key words:** computer vision; edge detection; geometric figure; curve fitting; subpixel

## 1 引言

随着科技的发展和社会的进步,人们对于信息交流和传递等方面的依赖程度日益增加。而显示器件作为信息交换和传递的主要载体和物质基础,现已成为众多从事信息光电研究科学家争相抢占的热点和高地。在液晶显示的发展趋势中,高亮度,高对比度,高解析度等高画质需求十分强烈<sup>[1-4]</sup>。

对于达到高解析度这一目标,有许多相关设计都要随之改变和改善。对柱状隔离子(PS)提出的更高要求是尺寸更小,坡度角更大,顶部面积相对底部面积的比例更大,这意味着要求在制造中对 PS 的形状控制更加精细。业内对于这一要求的解决方案主要有两种,一种是对 PS 材料的改善,一种是对制程工艺的改善。材料的改善通常是提升 PS 材料的光敏感度,制程上的改善主要是通过调整光罩和曝光条件来改进曝光显影的精度。本文对 PS 形状的控制,主要通过制程工艺的改善,与传统的手法不同的是,本文通过对曝光的光分布情况进行分析,并针对其根源提出改善方案。

目前阵列基板部分提升光刻工艺容限主要是通过改变涂胶、光刻、显影、前烘、后烘的条件及光刻机的调焦调平等方法<sup>[5]</sup>,但这些方法在实际生产中由于长期进行不断的循环改善工作,使得改善空间有限<sup>[6-8]</sup>。业内不断有研究者通过对曝光过程进行计算,找出改善的方向和条件,如通过推导并计算出光刻胶段差区域内光强变化量,计算出光刻平面的调整量,改善沟道的光刻胶残留<sup>[9]</sup>。同时为应对 LCD 高解析度的需求,提升 PS 的光刻工艺容限,已成为必要。

## 2 实验

实验采用负型透明 PS 光阻,实验流程如图 1 所示。采用旋涂进行成膜,热盘进行预烤,使用光罩图形为正方形,其中曝光间隙  $10\sim 300\ \mu\text{m}$ ,使用 KOH 溶液进行显影,后烘烤制程仍然是热盘加热。

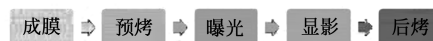


图 1 实验流程图

Fig.1 Flow chart of experiment

## 3 结果分析与计算

如图 2 所示,通常采用柱状光阻作为 LCD 盒内的支撑物,传统材料所形成的坡度角都比较小,如图 2(a)。而在分辨率不断提升的大趋势下,PS 尺寸在微米尺度上变得更小,而又需要保持其支撑能力,需要通过增大其顶部面积来达到上述两方面的平衡。通过增大坡度角,如图 2(b),顶部面积相对底部面积比例变大的同时,总的尺寸也发生了缩减。当缩小 PS 的尺寸时,往往发生 PS 顶部凹陷问题,从而导致 PS 支撑力不足,影响显示器件性能。本文从曝光显影的角度对精细化制程中出现的 PS 光阻顶部凹陷的问题进行了研究。

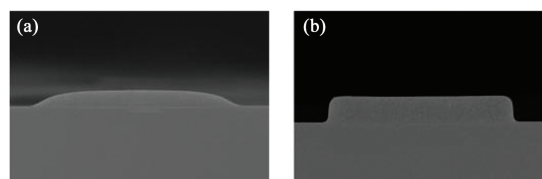


图 2 普通 PS(a)和精细化 PS(b)截面图

Fig.2 Cross section of normal PS(a) and fine PS(b)

不同曝光间隙条件下得到的透明的图案化光阻的形状,如图 3 所示,由接近光罩的正方形形状,变为菱形,这是由于光罩的间距提高后,直角区域的光分布由于衍射能量降低导致。同时图案化后的 PS 光阻顶部的凹陷由严重变得轻微。当曝光光源到光刻胶的间距逐渐增大后,显影图形变为顶部上凸(图 3e~g)。

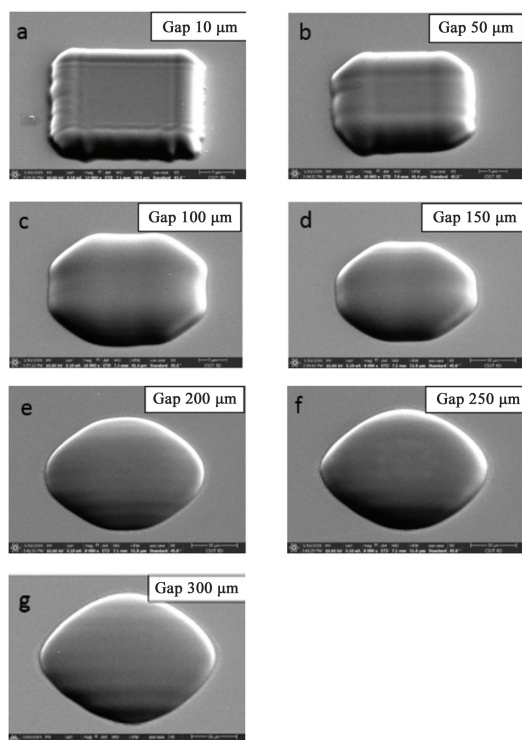


图 3 不同曝光间距下透明光阻的形状变化。间距变化从 10~300  $\mu\text{m}$ ,其中 10~150  $\mu\text{m}$  变化时,凹陷由 0.17  $\mu\text{m}$  逐渐减小到 0.04  $\mu\text{m}$ ,间距继续上升,顶部转变为上凸。

Fig.3 PS shapes with different gaps. Gap value changes from 10  $\mu\text{m}$  to 300  $\mu\text{m}$ . As gap value changes from 10  $\mu\text{m}$  to 150  $\mu\text{m}$ , the PS top convave changes from 0.17  $\mu\text{m}$  decrease to 0.04  $\mu\text{m}$ ; when gap value increases, PS top shape changes to convex.

针对这种现象,采用 GenIsys 商业软件进行了模拟计算,模拟结果如图 4 所示。从模拟结果中可得到两个重要趋势:(1)角落光强分布的形状,从与光罩形状一致的正方形变为直角削弱后的菱形,这与实际图案化的光阻形状变化是一致的;(2)PS 光阻顶部受到光能量照射后,图形变化趋势也与实验一致,随着间距变大光组顶部由凹陷转为上凸。顶部凹陷还有一个微小的细节,如图 5(a-4, a-5),在

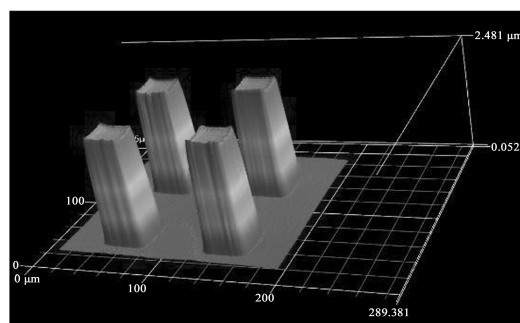


图 4 曝光间距为 10  $\mu\text{m}$  的样品其顶部 3D 轮廓:PS 光刻胶成型后的顶部凹陷模拟。

Fig.4 3-D top profile of samples with exposure gap of 10  $\mu\text{m}$ : simulation of top depression after PS photoresist forming

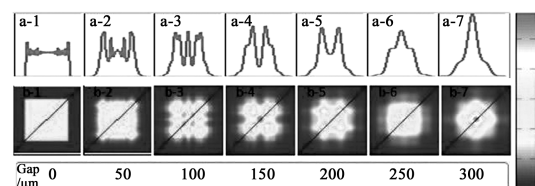


图 5 不同曝光间距下光强分布情况模拟

Fig.5 Simulation of light intensity distribution under different exposure gap

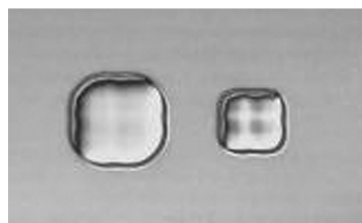


图 6 透明光阻图案化后顶部分区块图

Fig.6 Top block map after transparent photoresist patterning

曝光间隙在 150~200  $\mu\text{m}$  时,顶部形貌呈现出分区块的情况,这部分同样由实验得到验证,如图 6 所示。图 6 中采用了平行度更高的曝光机进行,其提供的光源更接近高斯光束,更好地复现出高斯光束在经历不同的传播距离时发生的变化。

由曝光机中的光源发出的光,经由其内部的光学构件 UM 成像系统,变为高斯光束对基板上的光阻进行曝光,光束与基板间放置一个光罩实现光阻的图案化。经过光罩后光束的传播符合高斯分布,它可以通过麦克斯韦方程式推导得到<sup>[10]</sup>均匀介质中的高阶高斯光束公式如式(1)。

$$E_{i,m}(x,y,z)=E_0\frac{\omega_0}{\omega(z)}H_m(\sqrt{2}\frac{x}{\omega(z)})H_n(\sqrt{2}\frac{y}{\omega(z)})\exp\left\{-\frac{x^2+y^2}{\omega^2(z)}-i\left[\frac{k(x^2+y^2)}{2R(z)}+kz+(m+n+1)\eta(z)\right]\right\}, \quad (1)$$

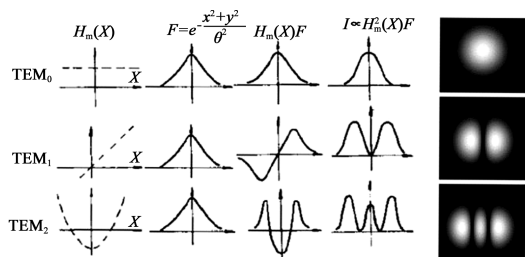


图 7 几种高阶高斯光束的光强分布图。TEM<sub>0</sub>, TEM<sub>1</sub>, TEM<sub>2</sub>。

Fig.7 Intensity distributions of several higher-order Gauss beams. TEM<sub>0</sub>, TEM<sub>1</sub>, TEM<sub>2</sub>.

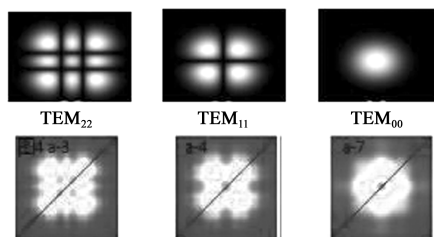


图 8 高阶高斯光束的光强分布与模拟光强分布

Fig.8 Intensity distribution and simulated intensity distribution of higher-order Gauss beams

其中:  $m, n$  为  $x, y$  方向上的零点个数, 此时高阶高斯光束分布为厄米-高斯光束, 表示为 TEM<sub>mn</sub> 模式。几种高阶高斯光束的光强分布图如图 7 所示, 其中  $n$  为 0,  $m$  为 0, 1, 2。本实验中光强的区块分布符合 TEM<sub>22</sub>, TEM<sub>11</sub>, TEM<sub>00</sub>, 如图 8 所示。

## 4 结 论

通过实验可见, 光阻顶部凹陷现象, 与曝光间距形成强相关。当曝光间距由小变大, 即曝光机内光源发出的光, 经由光罩后传播的距离变化, 会引起到达光阻的光分布的改变, 简单描述为分峰状况由多到少变化。在 100~200 μm 的曝光间距范围内, 分峰数量为 4, 峰谷强度差异最大, 此时容易发生顶部凹陷的问题, 且可明显观察到顶部图形呈四区块。因此, 建议在 LCD PS 高精细化的需求下, 降低曝光间距, 从传统的 250 μm 降低到 150 μm 或 100 μm 以下, 可避免顶部凹陷问题; 另外, 也可考虑改变光罩图形, 如从原来的单孔变为多孔相拼, 可增加分峰数量, 使光强分布差异减小。

## 参 考 文 献:

- [1] 田民波, 叶锋. TFT LCD 面板设计与构装技术[M]. 北京: 科学出版社, 2010.  
TIAN M B, YE F. *Design and Construction Technology of TFT-LCD Panel* [M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese)
- [2] 赵红平, 雷威, 张晓兵, 等. 液晶显示器新技术[J]. 真空电子技术, 2004(5): 1-6.  
ZHAO H P, LEI W, ZHANG X B, et al. New technology of LCD [J]. *Vacuum Electronics*, 2004(5): 1-6. (in Chinese)
- [3] 范志新. 液晶器件工艺基础[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2000.  
FAN Z X. *Process Basis of Liquid Crystal Devices* [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2000. (in Chinese)
- [4] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.  
MA Q G. *Principle and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)
- [5] 缪小运. 先进光刻系统中焦平面测量与控制的研究[D]. 上海: 复旦大学, 2006  
MIAO X Y. The study on the advanced lithography system of the focal plane measurement and control [D]. Shanghai: Fudan University, 2006. (in Chinese)

- [6] 韦亚一, 粟雅娟, 刘艳松. 先导光刻中的光学邻近效应修正[J]. 微纳电子技术, 2014, 51(3): 186-193.  
WEI Y Y, SU Y J, LIU Y S. Optical proximity correction in the advanced photolithography [J]. *Micronanoelectronic Technology*, 2014, 51(3): 186-193. (in Chinese)
- [7] 张玉虎, 岳浩, 王军帽, 等. TFT 光刻 DICD 均一性改善优化[J]. 液晶与显示, 2016, 31(10): 930-935.  
ZHANG Y H, YUE H, WANG J M, *et al.* Improvement of uniformity of TFT lithography DICD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(10): 930-935. (in Chinese)
- [8] 冯伯儒, 张锦, 侯德胜, 等. 相移掩模和光学邻近效应校正光刻技术[J]. 光电工程, 2001, 28(1): 1-5.  
FENG B R, ZHANG J, HOU D S, *et al.* Optical microlithography with phase-shifting mask and optical proximity effect correction [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2001, 28(1): 1-5. (in Chinese)
- [9] 张玉虎, 李亚文, 刘小波, 等. 光刻胶段差对光刻图形的影响与改善[J]. 液晶与显示, 2018, 33(8): 653-660.  
ZHANG Y H, LI Y W, LIU X B, *et al.* Effect of segment difference of photoresist on lithography pattern and improvement [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(8): 653-660. (in Chinese)
- [10] 夏珉. 激光技术与原理[M]. 北京: 科学出版社, 2016.  
XIA M. *Laser Technology and Princip* [M]. Beijing: Science Press, 2016. (in Chinese)

#### 作者简介:



张 宇 (1988—), 男, 安徽芜湖人, 硕士研究生, 2010 年于东南大学获得学士学位, 现就读于北京大学深圳研究生院信息工程学院, 主要从事平板显示生产制造工作。E-mail: zh\_yu@tcl.com



陈珍霞 (1985—), 女, 福建连城人, 高级工程师, 2010 年于武汉理工大学获得硕士学位, 主要从事光阻材料曝光显影特性和模拟及平板显示中新材料新技术的开发工作。E-mail: chenchenxia@tcl.com