

文章编号:1007-2780(2022)04-0475-08

液晶显示屏挤压漏光的分析及改善

李愿愿^{1,2}, 程再军^{1*}, 颜华生², 张旭^{1,2}, 王建明¹

(1. 厦门理工学院 光电与通信工程学院, 福建 厦门 361000;

2. 天马微电子股份有限公司 消费品质量部, 福建 厦门 361000)

摘要:为提高液晶面板挤压漏光最大临界力值和抗挤压能力,通过对液晶面板挤压漏光机理进行分析,结合企业实际生产,采用实验设计(DOE)筛选主要因子。DOE结果表明,挤压漏光的主要因子有柱状隔垫物(Photo spacer,PS)尺寸、黑色矩阵(Black Matrix,BM)宽度、PS站位以及平坦化层(PLN)厚度。在实际生产过程中对挤压漏光进行改善设计实验,结果表明:增加PS的尺寸能有效提升面板抗击压能力的32.69%,且尺寸增大后,其弹性回复率增加了4.4%,能有效降低挤压漏光的发生;增加3 μm BM宽度设计的面板挤压漏光平均临界值提升了30.61%;改变PS站位整体居中设计较PS偏右上设计的面板的挤压漏光平均临界力值提升了33.33%;PLN厚度减小0.6 μm 能有效提升27.08%的面板挤压漏光临界力值。

关键词:液晶面板;挤压漏光;隔垫物;实验设计

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/CJLCD.2022-0003

Analysis and improvement of LCD light leakage caused by pressing

LI Yuan-yuan^{1,2}, CHENG Zai-jun^{1*}, YAN Hua-sheng², ZHANG Xu^{1,2}, WANG Jian-ming¹

(1. *Institute of Optoelectronics and Communication Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen 361000, China;*

2. *Consumer Quality Department of Tianma Microelectronics Co., Ltd., Xiamen 361000, China*)

Abstract: In order to improve the maximum critical force value and anti-pressed capacity of the liquid crystal panel, by the mechanism analysis of LCD's light leakage due to the pressing, and combining with the actual production, the main factors are screened using the method of design of experiments (DOE). The DOE results show that the main factors of pressed leakage are the size of the photo spacer (PS), width of black matrix (BM), PS locations, and planarization-layer (PLN) thickness. Improved design experiments are carried out in the actual production process and the results show that the panel anti-pressing capacity can be effectively enhanced by 32.69% by increasing the size of the PS, and its elastic recovery rate can be increased by 4.4%, which can effectively reduce the occurrence of light leakage. Also, by increas-

收稿日期: 2022-01-04; **修订日期:** 2022-02-02.

基金项目: 福建省自然科学基金(No. 2021J011215); 厦门市青年创新项目(No. 3502Z20206077); 厦门理工学院科研攀登计划(No. XPDKT20011)

Supported by National Natural Science Foundation of Fujian Province (No. 2021J011215); Youth Innovation Project of Xiamen City (No. 3502Z20206077); Research Climbing Project of Xiamen Institute of Technology (No. XPDKT20011)

*通信联系人, E-mail: 2011111002@xmut.edu.cn

ing BM width by 3 μm , changing the PS locations' design from upper right to center and reducing the thickness of PLN by 0.6 μm , the average critical value of the panels' pressing leakage can be increased by 30.61%, 33.33% and 27.08%, respectively.

Key words: liquid crystal panel; light leakage; photo spacer; design of experiments

1 引言

随着时代的进步和发展,液晶显示屏应用于手机、平板电脑、电视等各种电子产品中,给人们的生活带来了许多便利^[1-3]。薄膜晶体管液晶显示器(Thin Film Transistor-liquid Crystal Display, TFT-LCD)以其轻薄、功耗低、便携等优点扩大了其自身的应用领域,同时由于人们对液晶显示屏的体验需求逐年提高,因此各大面板厂致力于提高液晶显示屏的品质性能来提升自身的竞争优势^[4-5]。其中挤压漏光对显示质量有很大的影响,造成终端用户体验感受较差。

目前液晶显示屏的产品均由彩色滤光片(Color Filter, CF)基板和 TFT 阵列基板贴合而成。为保证液晶面板盒厚的稳定性和均一性,需要在两基板间制作柱状隔垫物(Photo Spacer, PS)来支撑^[6]。液晶面板中的 PS 是一种具有一定弹性的树脂材料,双柱高设计,分为主隔垫物(Main Photo Spacer, MPS)和辅隔垫物(Sub Photo Spacer, SPS),两者共同作用预防相关显示不良^[7]。其中液晶面板在受到挤压发生形变时宏观可见红色斑点或者蓝色斑点,显微镜下表现为漏光这一不良现象。液晶面板在制作过程中受到机台不可控的外力作用、生产过程中产线工作人员不规范的操作以及终端用户不恰当的使用都有可能造成液晶面板受到挤压发生形变,进而影响液晶面板的正常显示。为了保证液晶面板正常显示,需要对液晶面板在极端的环境下进行可靠性实验,快速激发暴露不良现象,验证液晶面板设计的可行性。

本文通过设计液晶面板抗挤压能力的可靠性试验以及对挤压漏光机理的分析,得出其影响因素可分为 3 大类:PS 的设计、遮光区域的设计、平坦化层(Planarization Layer, PLN)的设计。采用部分因子实验设计(Design of Experiment, DOE)的方法筛选出影响挤压漏光的主要因子有 PS 的尺寸、黑色矩阵(Black Matrix, BM)宽度、

PS 站位以及 PLN 厚度,并通过实验进行验证,为提升液晶面板抗挤压能力提出改善措施。

2 液晶面板挤压测试可靠性实验及挤压漏光机理分析

2.1 挤压测试可靠性实验

挤压测试可靠性实验使用万能测试仪(岛津, AG-X plus 5 kN/1 kN, 1~4 800 N/980 N)。选择压杆 Φ 10 mm、压头 Φ 15 mm 球头的橡胶压头并根据样品大小选择相应的 PS 专用治具。治具平台要求平面载台,中心圆形镂空,直径 30 mm。先将治具固定在试验机台上保持平行且紧固,如图 1(a)所示。压力计垂直正压于液晶面板中心点。压头和治具安装完后,如图 1(b)所示,将样品放在载台上,CF 侧朝上,压头对准样品中心点,程序设置实验条件为初始力值从 20 N 开始,压杆下降速度为 5 mm/min,当压头接触到样品中心点后停留时间为 5 s。每次按压之后都将样品移出治具,在点亮的背光源下观察有无红斑或蓝斑出现,若有则本次实验结束,若无则依次递增 10 N 直至出现。

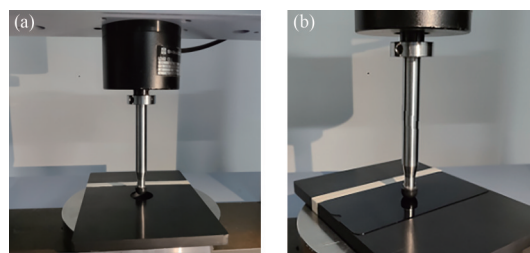


图 1 (a) PS 治具测试点位; (b) 样品固定方式。

Fig. 1 (a) PS fixture test point; (b) Sample fixation method.

2.2 挤压漏光不良现象

本文所述挤压漏光不良现象的宏观和微观图片如图 2 所示。由图 2(b)可以看到,红色亮点出现的位置均在主隔垫物旁,说明在挤压过程中, MPS 周围的液晶分子无法正常偏转从而出现漏光。

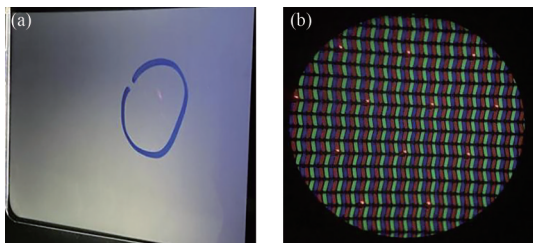


图2 红斑不良的宏观图片(a)和微观图片(b)

Fig. 2 Macro picture (a) and micro picture (b) of red spot

2.3 挤压漏光不良机理分析

PS对液晶面板起支撑作用,应用于液晶面板中很大程度控制着液晶面板的盒厚,进一步控制面板的显示品质,其中PS的压缩率和弹性回复率是液晶面板保持一定盒厚的关键因素^[8]。图3所示为柱状PS的俯视和侧视示意图,由俯视图可见其上底直径小于下底直径,其侧视图为梯形。

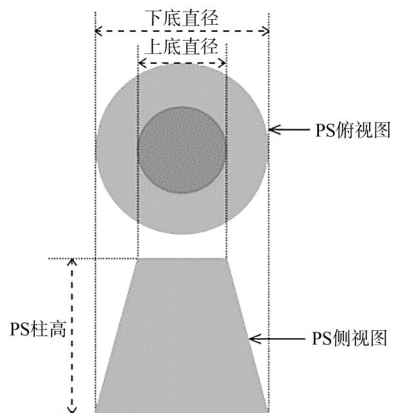


图3 PS的俯视和侧视示意图

Fig. 3 Top view and side view of PS

当面板受到外力作用发生弯曲时,PS被压缩,如果在其弹性回复限度内撤掉外力,面板就会恢复原状正常显示。如果超出其弹性回复限度,就会导致MPS变形移位而划伤TFT基板上的聚酰亚胺(Polyimide,PI)配向膜,无法正常控制液晶分子的排列,从而导致漏光^[9-10]。如图4所示,当挤压面板时,若PS的尺寸过小,其与配向膜的接触面积小且周边空间没有能够阻挡PS滑动的阻挡物,在挤压过程中更容易划伤配向膜。此外,PS站位设计同样存在挤压漏光问题,例如,PS设计若整体偏离居中,在挤压过程中会加大其相对于下基板的偏移距离,相对于居中站位设计可能会更易划伤配向膜。并且,由于目前人

们对高分辨率产品的要求,BM宽度较小,无法遮挡PS在配向膜上划伤的位置,致使漏光不良更易发生^[11]。最后,PLN平坦化层在面板受到挤压时,若其对上下基板间电场相互干扰的防护作用受到破坏,会对基板上的像素电容造成影响(像素电容的作用即为驱动液晶分子的旋转),进而影响像素周边的液晶分子正常偏转,也会导致漏光。由于MPS设计在红蓝像素上,故宏观上呈现出红斑或者蓝斑现象。

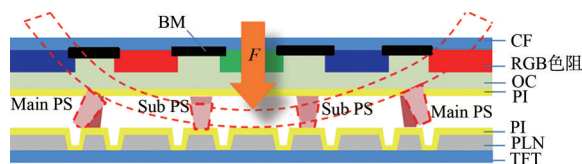


图4 液晶面板挤压示意图

Fig. 4 Schematic diagram of liquid crystal panel pressing

3 不良影响因子的研究

3.1 挤压漏光影响因子实验方案设计

根据上述液晶面板挤压漏光的机理分析,对盒内PS相关设计、遮光BM宽度设计以及下基板PLN的设计进行优化是改善的总体方向。本文通过DOE^[12]筛选出影响挤压漏光的主要因子,主要探讨PS的尺寸、BM宽度、PS站位以及PLN厚度对挤压漏光不良的影响。基于实际生产过程中的情况,以上相关因子的设置都有各自的范围,因此本次实验的主要参数设置如表1所示。

表1 DOE部分因子实验设置参数

Tab. 1 DOE part factor experiment set parameters

	PS尺寸/ μm	BM宽度/ μm	PS站位	PLN厚度/ μm
参数下限	15	25	偏右上	2.7
参数上限	23	31	居中	3.3

以上实验因子共计4个,采用 $2^4 \times 1/2$ 部分因子实验设计,共进行8组实验。部分因子实验实施应按照DOE的基本原则进行,即随机性、重复性和区组化。实验的随机性是为了防止实验时主观和客观因素对实验结果造成误差,以此来提高实验的可信度。根据以上实验方案设计进行验证,具体实验实施方案及实验结果如表2所示。

表 2 部分因子实验设计及实验输出

Tab. 2 Partial factor experiment design and experimental output

标准序	运行序	PS 尺寸/ μm	BM 宽度/ μm	PS 站位	PLN 厚度/ μm	面板挤压漏光最大临界值/N
4	1	23	31	偏右上	2.7	63
7	2	15	31	居中	2.7	65
2	3	23	25	偏右上	3.3	54
1	4	15	25	偏右上	2.7	51
8	5	23	31	居中	3.3	66
3	6	15	31	偏右上	3.3	53
6	7	23	25	居中	2.7	65
5	8	15	25	居中	3.3	52

3.2 挤压漏光的部分因子 DOE 数据分析

根据表 2 实验输出结果,利用 Minitab 软件制作如图 5 所示的挤压漏光影响因子的标准化效应 Pareto 图。图中的竖虚线为 95% 的置信度水平显著性判断参考线,横向矩形条为各因子的效应绝对值。若矩形条超出判断参考线,表示因子对实验输出结果的影响显著,且超出部分与显著性成正相关。由图 5 可见,PS 尺寸、BM 宽度、PS 站位以及 PLN 厚度均超过参考线,即可判断以上

均为显著影响因子,并且各因子对面板挤压漏光最大临界值影响大小的排名为 PS 站位>PS 尺寸>BM 宽度>PLN 厚度。

为验证以上分析是否合理需要进一步进行残差分析,如图 6 所示为挤压漏光影响因子的残差图。

由图 6(a)可进行正态性检验,图中各点的分布在同一直线上下浮动,且 P 值(P 值是用来判定假设检验结果的一个参数,通常被用来判断原始假设是否正确)为 0.376(>0.05),由此可判定满足正态分布;由图 6(b)观察与拟合值散点图可知,各点分布未出现“喇叭形”或者“漏斗形”,由此判断残差正常;由图 6(d)观测值顺序图可观察到各点随机分布于水平轴的上下并无呈规则波动。以上 3 个角度(直方图用于显示所有观测值的残差分布,其外观取决于用来进行数据分组的区间数,但由于本文中样本数量小,所以不具备可靠性)的分析表明,本文的 DOE 数据分析基本准确,可确定 PS 尺寸、BM 宽度、PS 站位以及 PLN 厚度为影响面板挤压漏光的主要因子。

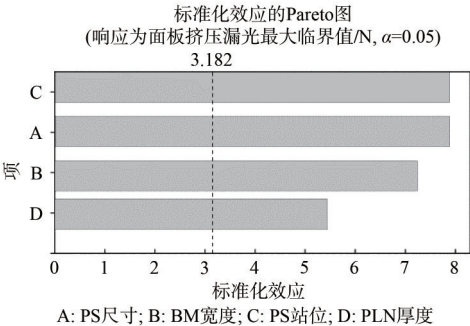
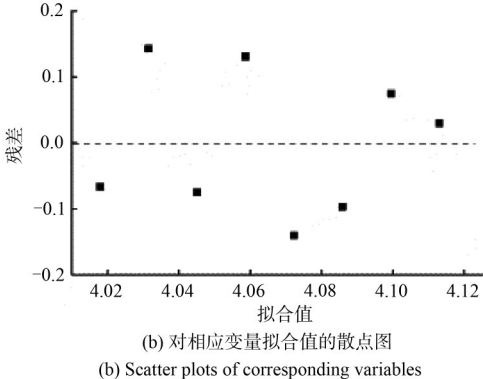
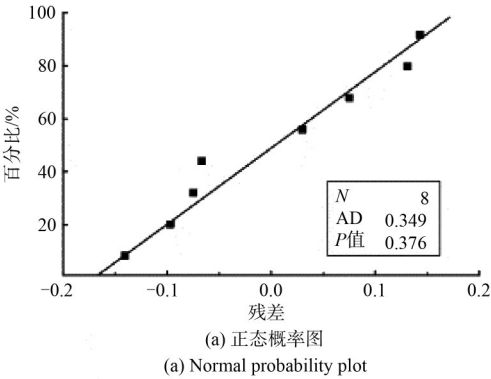


图 5 挤压漏光影响因子的标准化效应图
Fig. 5 Standardization effect of pressed leakage influence factor



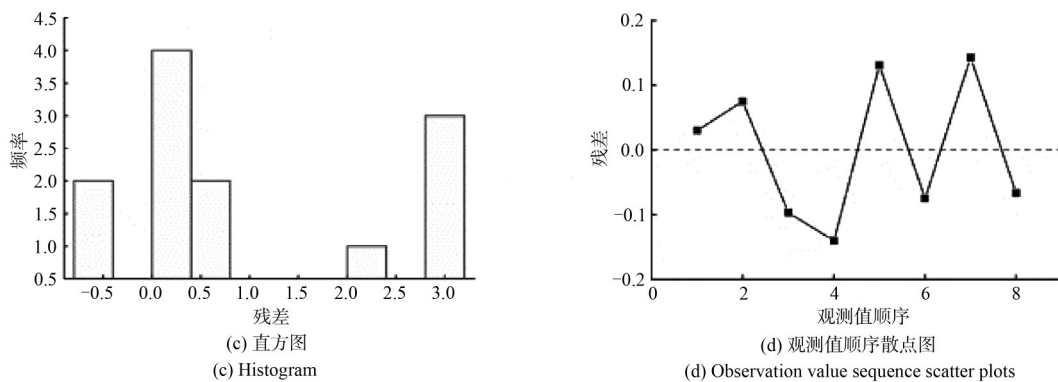


图6 挤压漏光影响因子的残差图

Fig. 6 Residual diagram of pressed leakage influence factor

4 液晶面板挤压漏光的改善

根据DOE实验分析结果,对以上显著影响因素进行优化并管控好其他因子,即可提高液晶面板挤压漏光最大临界值,有效改善挤压漏光不良,进而提升面板抗挤压能力。

4.1 增加PS的尺寸

在确保满足液晶面板光学特性的前提下,通过增加PS的尺寸使之与配向膜接触面积变大,进而使其周围空间变小,在面板受到挤压作用致使PS发生滑动时能够较早与周边金属线接触,以达到阻挡PS滑动的目的。为此,将柱状PS的

上下底直径各增加 $3\mu\text{m}$ 。为了验证原设计与增加 $3\mu\text{m}$ 设计的PS弹性回复率的区别,本文使用精密的PS柱弹性回复率测试仪器进行测试,利用仪器模拟在加压情况下PS的状况。设置挤压力值为 50mN ,持续时间为 30s 。设 h_{max} 为PS发生的最大形变, h_p 为压力撤销后PS恢复后的形变,由式(1)可以得到PS的弹性回复率^[13-14]。

$$\text{PS 弹性回复率} = \frac{h_{\text{max}} - h_p}{h_{\text{max}}} \times 100\% \quad (1)$$

不同尺寸设计的PS弹性回复率如表3所示。从表中可以看出,增加PS的尺寸后,其弹性回复率较原设计平均提高了 4.4% 。

表3 不同产品PS弹性回复率对比

Tab. 3 Comparison of different product PS elastic recovery rate

原设计				增加 $3\mu\text{m}$ 设计			
编号	$h_{\text{max}}/\mu\text{m}$	$h_p/\mu\text{m}$	弹性回复率/%	编号	$h_{\text{max}}/\mu\text{m}$	$h_p/\mu\text{m}$	弹性回复率/%
1	0.467 8	0.069 8	85.08	1	0.569 5	0.064 6	88.66
2	0.500 8	0.079 8	84.07	2	0.999 1	0.092 23	90.77
3	0.483 2	0.076 6	84.15	3	0.992 5	0.095 5	90.38
4	0.409 7	0.050 1	87.77	4	0.963 8	0.084 1	91.27
5	0.474 9	0.052 4	88.97	5	0.564 1	0.051 3	90.91
Ave	0.467 3	0.065 7	86.00	Ave	0.817 8	0.077 5	90.40

对比PS的尺寸设计变更前后两种产品在相同挤压实验中面板出现漏光的临界值,如图7所示。由图可知,PS的设计变更后挤压出现漏光的平均力值增大,面板所能承受的最大压力平均增强 32.69% 。根据以上数据可以推测是因为PS的尺寸增大,与配向膜接触面积增大,相同负载下PS受到的压强变小,形变量减小,因此压缩后产生的塑性形变减小,弹性回复率增加,挤压

出现漏光的平均临界力值增大,能够有效改善挤压漏光不良。

4.2 增加BM宽度

BM的作用是避免邻接RGB三原色像素的散乱光及背光直接投射,增加色彩对比性,避免背景光由显示幕反射造成对比度下降,遮蔽薄膜晶体管以防止光电流产生以及减少LCD光点间因彼此干扰所产生的光害,获得稳定且清晰的影

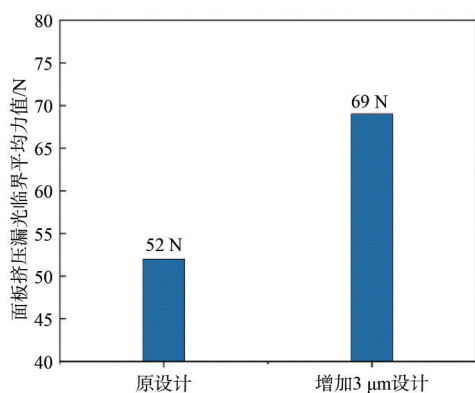


图7 不同PS尺寸设计的面板抗挤压能力

Fig. 7 Panel anti-pressing capability of different PS size design

像品质,提升阅读上的舒适度等。在保证其他因子不变的前提下,增加BM的宽度,可以使面板在挤压过后PS滑动的距离小于BM宽度从而能够遮挡漏光。但基于液晶显示屏高分辨率的要求,过度增大BM宽度的设计会降低液晶面板的透过率,因此在设计过程中将BM宽度在原来基础上增加3 μm。

对变更BM宽度设计前后的液晶面板分别选择相同数量的样品进行相同的挤压实验,结果如图8所示。由图8可知,增大BM宽度设计的液晶面板挤压漏光平均临界力值为64 N,对比改善前液晶面板挤压漏光的平均临界力值49 N提升了30.61%,说明增大BM宽度设计能够改善挤压漏光不良。

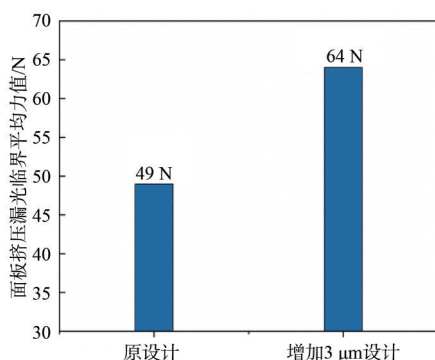


图8 不同BM宽度设计的面板抗挤压能力

Fig. 8 Panel anti-pressing capability of different BM width design

4.3 不同PS站位设计对挤压漏光的影响

图9展示了PS不同站位设计的液晶面板显

显微镜图。在保证PS尺寸大小以及BM宽度不变的前提下,变更PS站位设计,其中图9(a)为变更前的PS站位设计,整体偏右上设计;图9(b)为变更后的PS设计,整体居中设计。

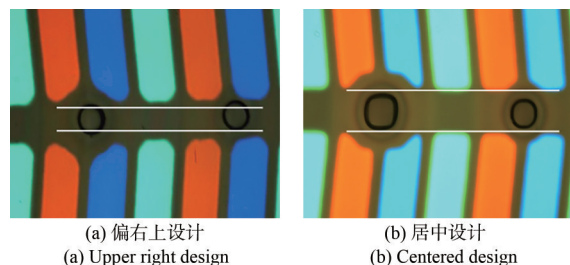


图9 PS站位不同设计的显微镜图

Fig. 9 Microscopic map of PS different station design

根据上述PS站位设计的液晶面板,分别选择相同数量的样品进行相同的压力实验,结果如图10所示。由图10可知,PS偏右上设计的液晶面板所能承受的临界平均值为51 N,而PS整体居中设计的面板所能承受的临界平均值为68 N,相较之下提升了33.33%。由此可以推断液晶面板内PS站位调整为整体居中设计,挤压后偏移距离小,不易出现挤压漏光。

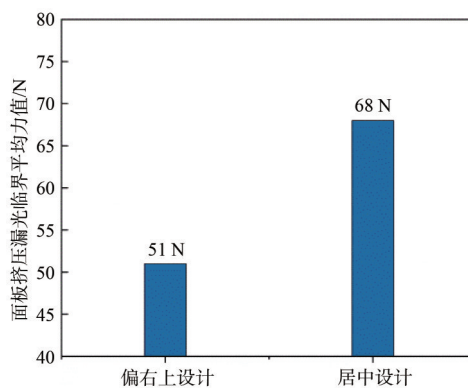


图10 不同PS站位设计的面板抗挤压能力

Fig. 10 Panel anti-pressing capability of different PS stamp design

4.4 减小PLN厚度设计

PLN为有机膜层,主要起平坦化作用使配向更均匀,同时减小耦合电容,并对下基板的TFT电场进行屏蔽,避免影响同一基板上的像素电容,防止电场相互干扰。图11所示为不同PLN厚度的SEM图。

根据以上所述的PLN有机膜层厚度的设

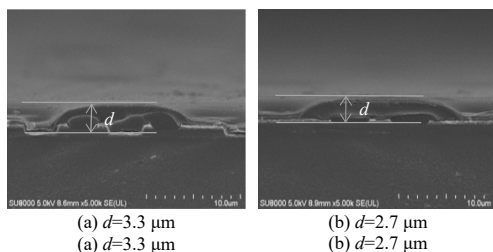


图11 不同PLN厚度的扫描电镜图

Fig. 11 Different PLN thickness SEM map

计,在保证PS尺寸,BM宽度以及PS站位相同的前提下,对不同PLN厚度设计的产品进行相同条件下的挤压实验,结果如图12所示。由图12

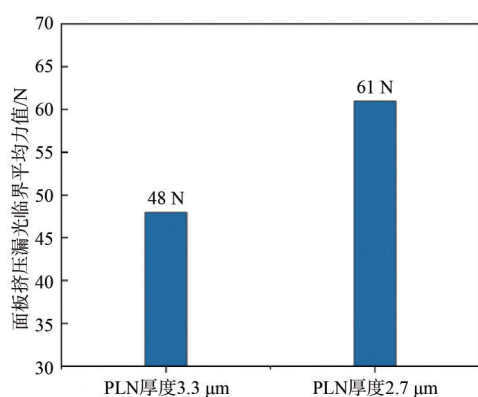


图12 不同PLN厚度设计的面板抗挤压能力

Fig. 12 Panel anti-pressing capability of different PLN thickness design

可知PLN厚度 $d=3.3\ \mu\text{m}$ 的液晶面板挤压漏光平均临界值为48 N,而PLN厚度为 $d=2.7\ \mu\text{m}$ 的液晶面板出现挤压漏光的平均临界力值为61 N。相比之下,PLN厚度减小却使面板抗挤压能力提升27.08%,因此减小PLN厚度可有效改善挤压漏光不良。

5 结 论

通过对液晶面板挤压漏光机理的分析,利用实验设计中部分因子DOE方法,确定影响挤压漏光不良的显著因子为PS的尺寸、BM宽度、PS站位设计以及PLN厚度。

针对各个影响因子设计运用于实际生产中液晶面板的不良改善措施,结果表明:柱状PS上下底直径各增加 $3\ \mu\text{m}$ 的设计使面板所能承受的最大压力平均增强32.69%,并且其弹性回复率较原设计提升了4.4%;增大BM宽度设计的液晶面板对比改善前挤压漏光平均临界力值提升了30.61%;PS整体居中设计的液晶面板较PS偏右上设计的面板所能承受的临界均值提升了33.33%;PLN厚度为 $2.7\ \mu\text{m}$ 的液晶面板比PLN厚度为 $3.3\ \mu\text{m}$ 的面板抗挤压能力提升27.08%。本文所研究的内容以及实验方法可有效提升产品的品质,提高企业的生产效益。

参 考 文 献:

- [1] 吕延晓. 液晶显示器(LCD)产业的迭代演进[J]. 精细与专用化学品, 2018, 26(2): 5-12.
LV Y X. Evolution of industry progress on liquid crystal displays (LCD) [J]. *Fine and Specialty Chemicals*, 2018, 26(2): 5-12. (in Chinese)
- [2] XIONG J H, WU S T. Planar liquid crystal polarization optics for augmented reality and virtual reality: from fundamentals to applications [J]. *eLight*, 2021, 1: 3.
- [3] 丁沫沂, 仲雪飞, 程婷, 等. LCD视角的主观视觉感知评价方法[J]. 电子器件, 2008, 31(5): 1425-1428.
DING S Y, ZHONG X F, CHENG T, *et al.* Perceptual evaluation method for the viewing angle of LCD [J]. *Chinese Journal of Electron Devices*, 2008, 31(5): 1425-1428. (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. *TFT-LCD Principle and Design* [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2011. (in Chinese)
- [5] 史晓刚, 薛正辉, 李会会, 等. 增强现实显示技术综述[J]. 中国光学, 2021, 14(5): 1146-1161.
SHI X G, XUE Z H, LI H H, *et al.* Review of augmented reality display technology [J]. *Chinese Optics*, 2021, 14(5): 1146-1161. (in Chinese)
- [6] 陈丽丽. 液晶显示器用隔垫物的专利技术综述[J]. 河南科技, 2015(20): 20-22.
CHEN L L. Review on the patent technology of spacer for liquid crystal display [J]. *Journal of Henan Science and Technology*, 2015(20): 20-22. (in Chinese)

- [7] 艾雨,刘利萍,周纪登. 面板显示不均分析及改善对策研究[J]. 液晶与显示,2015,30(2):202-207.
AI Y, LIU L P, ZHOU J D. Analysis and improvement of panel display inconformity [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(2): 202-207. (in Chinese)
- [8] 周华. 盒厚控制工艺对液晶显示器件光电特性影响的研究[D]. 上海:上海交通大学,2014.
ZHOU H. Study on cell gap process of Tft LCD and the impact of display effect [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2014. (in Chinese)
- [9] 王银春,李卓,李荣. TFT-LCD成盒工程中配向不良的改善[J]. 现代显示,2009,20(6):25-28.
WANG Y C, LI Z, LI R. The improvement of disclination defect in TFT-LCD cell process [J]. *Advanced Display*, 2009, 20(6): 25-28. (in Chinese)
- [10] 纪宇帆,蔡锋,于海峰. 液晶聚合物的表面形貌光调控研究进展[J]. 应用化学,2021,38(10):1226-1237.
JI Y F, CAI F, YU H F. Research progress on photoswitchable surface topography of liquid crystalline polymer [J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 2021, 38(10): 1226-1237. (in Chinese)
- [11] 陈重,李浩,陈曦. 新型高分辨率LCD控制器的设计与实现[J]. 电子技术应用,2011,37(6):123-126.
CHEN Z, LI H, CHEN X. Design and implementation of large-screen LCD controller [J]. *Application of Electronic Technique*, 2011, 37(6): 123-126. (in Chinese)
- [12] 胡守超,崔凯,李广利,等. 基于实验设计方法的高超声速飞机前缘型线优化分析[J]. 力学学报,2016,48(2):290-299.
HU S C, CUI K, LI G L, *et al.* Optimization and analysis of the leading edge shape for hypersonic airplanes based on DOE methods [J]. *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2016, 48(2): 290-299. (in Chinese)
- [13] 邹虎,张浩,黄想,等. 基底涂层对PS弹性回复率的影响[J]. 液晶与显示,2020,35(12):1240-1247.
ZOU H, ZHANG H, HUANG X, *et al.* Influence of substrate films for photo spacer elastic recovery rate [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(12): 1240-1247. (in Chinese)
- [14] 于涛,陈晟,储培鸣,等. 新型TFT-LCD柱状隔垫物的形变研究[J]. 液晶与显示,2012,27(4):445-447.
YU T, CHEN S, CHU P M, *et al.* Deformation of new photo-spacer for TFT-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(4): 445-447. (in Chinese)

作者简介:



李愿愿(1996—),女,安徽阜阳人,硕士研究生,2019年于福建江夏学院获得学士学位,主要从事液晶显示屏的不良改善研究。E-mail: 1874771194@qq.com



程再军(1980—),男,河南光山人,博士,副教授,2011年于厦门大学获得博士学位,主要从事基于MEMS的微能源和微器件方面的研究。E-mail: 2011111002@xmut.edu.cn