

TFT-LCD边缘暗带不良机理研究与改善

马健, 孙福坤, 廖伟经, 黄正峰, 刘来峰, 翟承凯, 郭晓斌

引用本文:

马健, 孙福坤, 廖伟经, 等. TFT-LCD边缘暗带不良机理研究与改善[J]. 液晶与显示, 2020, 35(11): 1134-1141.

MA Jian, SUN Fu-kun, LIAO Wei-jing, et al. Mechanism research and improvement of edge dark band of TFT-LCD[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(11): 1134-1141.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203511.1134>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

TFT-LCD TN曲面显示器色不均现象的研究

Prevention of uneven color for TFT-LCD TN curve panel

液晶与显示. 2020, 35(2): 128-135 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203502.0128>

窄长型车载液晶显示屏黑画面漏光研究及改善

Research and improvement of black screen light leakage in narrow-length automotive display

液晶与显示. 2019, 34(10): 982-991 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193410.0982>

平板电脑类产品暗态均匀性影响因素的研究与改善

Analysis and improvement research of black uniformity for tablet personal computer production

液晶与显示. 2019, 34(11): 1067-1072 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193411.1067>

PCI结构TFT-LCD产品竖Mura不良机理分析及改善研究

Research and improvement of vertical Mura on TFT-LCD with double notched PCI structure

液晶与显示. 2018, 33(5): 397-404 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183305.0397>

TFT-LCD改善"斑点不良"的研究

Prevention of TFT-LCD's "spot issue"

液晶与显示. 2017, 32(7): 507-511 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173207.0507>

文章编号:1007-2780(2020)11-1134-08

TFT-LCD 边缘暗带不良机理研究与改善

马 健, 孙福坤, 廖伟经, 黄正峰*, 刘来峰, 翟承凯, 郭晓斌

(合肥鑫晟光电科技有限公司, 安徽 合肥 230012)

摘要:针对薄膜晶体管液晶显示器(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display, TFT-LCD)边缘亮度偏低、出现暗带的不良现象,对不良机理及影响因子进行研究,并总结较优工艺条件。实验结果表明:从液晶面板设计角度,均匀的边缘盒厚有助于提升边缘亮度均匀性,故适中的液晶量、硅球尺寸、硅球掺杂比及较硬的封框胶其性能更优,同时贴附偏光片后的液晶面板越平坦其暗带程度越轻;从背光源角度,模组成品的边缘暗带不良与背光源批次存在强相关性,但主要受背光源的平坦度等尺寸参数影响而非背光源自身的暗带程度。此外,老化工艺释放了背光源与液晶屏组装时产生的内应力,缓和边缘位置的形变,适当延长老化时间有利于降低边缘暗带不良发生率。通过以上较优条件的导入,成功改善了 TFT-LCD 显示器边缘暗带不良,有效地提升了产品竞争力。

关键词:液晶显示器;边缘暗带;亮度均匀性;盒厚;背光

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **doi:**10.37188/YJYXS20203511.1134

Mechanism research and improvement of edge dark band of TFT-LCD

MA Jian, SUN Fu-kun, LIAO Wei-jing, HUANG Zheng-feng*, LIU Lai-feng,
ZHAI Cheng-kai, GUO Xiao-bin

(Hefei Xinsheng Optoelectronics Technology Co., Ltd., Hefei 230012, China)

Abstract: The undesirable phenomenon of edge dark band of TFT-LCD is introduced, the mechanism and influence factors are studied, and the optimum process parameters are concluded. The experimental results show that, from the perspective of panel design, the uniform thickness of edge cell gap is helpful to improve the uniformity of brightness in the edge area, and therefore the moderate amount of liquid crystal, the moderate size and doping ratio of silicon ball, and harder sealant are preferred. Meanwhile, the flatter the panel after polarizer attachment, the lighter the degree of dark band. From the perspective of backlight unit, the edge brightness uniformity of finished products has strong correlation with the batch of backlight. However, this is mainly related to the dimension parameters such as flatness of the backlight rather than the degree of dark band of the backlight. In addition, the aging process releases the internal stress generated during the assembly of backlight with panel, and alleviates the deformation at panel edge. Therefore extending the aging time appropriately is conducive to

收稿日期:2020-05-26;修订日期:2020-06-23.

* 通信联系人, E-mail: huangzhengfeng@boe.com.cn

reduce the incidence of edge dark band. Through the application of optimum conditions, we have successfully improved the uniformity of edge brightness of our product and effectively enhanced its competitiveness.

Key words: TFT-LCD; edge dark band; luminance uniformity; cell gap; backlight unit

1 引言

薄膜晶体管液晶显示器(TFT-LCD)自其诞生以来,因优异的性能得到了大众的喜爱,逐步取代了阴极射线管、等离子体显示等显示器,在诸多领域得到了广泛的应用^[1-3]。伴随着液晶显示行业的迅猛发展,人们对于显示器画质的要求也越来越高。理想状况下,人们希望液晶显示器屏内所有像素的亮度完全一致,但是实际上由于生产设备精度有限、制程工艺波动等因素,屏内的亮度总会存在一定的不均匀性。通常情况下,屏内亮度变化是连续的、渐变的,人眼难以察觉差异,不会影响实际使用。但若亮度在狭窄的范围内发生较大幅度甚至不连续的变化,则人眼易于察觉,产品会被降级甚至报废,造成良率损失。实际生产经验表明,屏幕中心区域的亮度均匀性通常较好,而边缘更易出现亮度的不均。这是由于液晶面板的边缘在设计上存在支撑结构、支撑能力的明显过渡,在制程上也更多地承担了力学支撑作用,更易产生形变,由此导致光学特性的变化。

本文以京东方某款 ADS(Advanced Super Dimension Switch)产品边缘亮度偏低、导致暗带不良的改善过程为例,研究实际生产中 TFT-LCD 边缘亮度均匀性的影响因素以及改善对策。

2 不良现象

某产品在开发阶段,模组成品检出边缘暗带不良,不良率达到 9.3%。图 1(a)、(b)所示分别为良品、不良品点灯状态下画面对比。可以看出,不良品在屏幕上侧边缘存在明显偏暗现象,偏暗区域呈长条状,长度方向贯穿整个屏幕长边,宽度则在 10 mm 以内。而良品无明显偏暗趋势,肉眼不易察觉。

采用数值计算量化不良的严重程度。在暗室中对显示器进行点灯,采用 CCD(Charge Coupled Device)相机测量整个显示器屏内亮度,结合相机

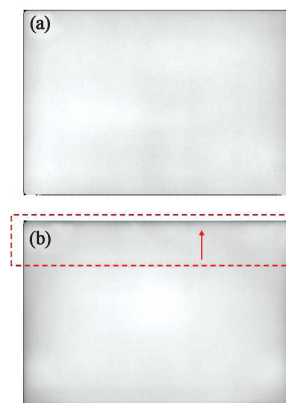


图 1 良品(a)及边缘暗带不良品(b)点灯画面对比
Fig.1 Comparison of image of good product (a) and defective product with edge dark band (b)

分辨率,将屏幕沿长边、短边方向分别划出 $m \times n$ 个子区域,每个子区域都测得一个亮度值。如图 2 所示,将显示器长边朝下放置,对每一行子区域的亮度值取平均值,可以绘出沿垂直方向的亮度均值变化曲线;同理,对每一列子区域的亮度值取平均值,可以绘出沿水平方向的亮度均值变化曲线。对垂直方向或水平方向的亮度曲线归一化后,分别对长度 x 求一阶微分并取绝对值:

$$L' = A \cdot \left| \frac{dL}{dx} \right|, \quad (1)$$

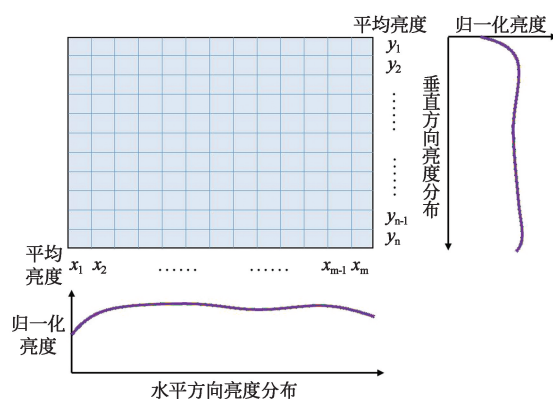


图 2 亮度均匀性测量原理图
Fig.2 Schematic diagram of measurement of luminance uniformity

即可得到垂直方向或水平方向的亮度变化率曲线,式中 L' 为亮度变化率, L 为归一化亮度, A 为比例放大系数。变化率曲线上的最大值 $L'_{\max}$ 称为暗带指数,单位为 mm^{-1} 。

结合该产品生产经验分析,若暗带指数大于 11.4,则作业员肉眼能明显感知边缘亮度下降且超过可接受范围,故将其设为不良品的界定标准。由于该产品发生亮度较大波动的方向主要沿垂直方向,故下文中的研究均基于垂直方向上的亮度变化。垂直方向上良品、不良品实测的亮度趋势如图 3(a)所示。总体上亮度呈现中间高、两侧低的趋势,但不良品在显示区域边缘约 8 mm 范围内亮度下降幅度可达 10%~15%,良品的下降幅度则较小,通常在 10%以内。图 3(b)所示分别为良品、不良品的亮度变化率曲线。良品和不良品的变化率最大值均出现在屏幕上侧边缘处,但良品在边缘的亮度变化更缓和,暗带指数仅为 4.0,而不良品变化更剧烈,指数高达 12.7,超过了限定标准,准确反映了亮度均匀性的优劣。

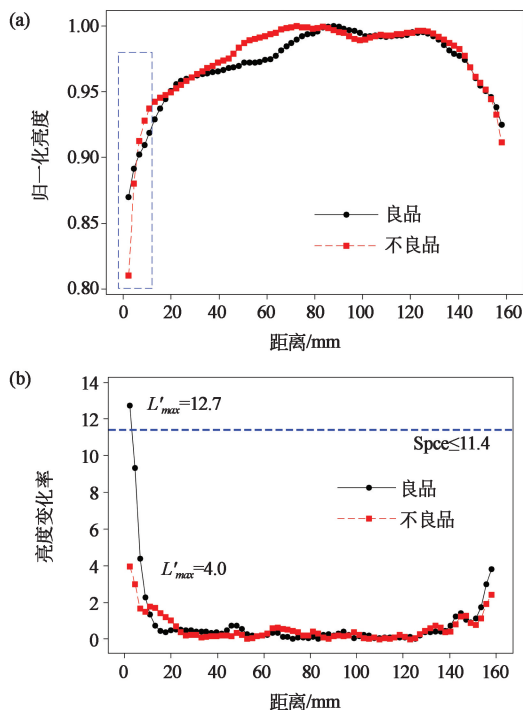


图 3 (a) 良品、不良品垂直方向的亮度分布对比;
(b) 良品、不良品垂直方向的亮度变化率趋势对比。

Fig.3 (a) Comparison of brightness distribution of good/defective products along the vertical direction; (b) Comparison of the change rate of brightness of good/defective products along the vertical direction.

3 不良影响因素分析

根据 TFT-LCD 显示器的基本结构,模组成品的暗带指数主要受下列细分项的综合影响:(1)液晶面板透过率不均造成的亮度均匀性变化;(2)背光源(Backlight Unit, BLU)本身的暗带指数;(3)背光源与液晶面板组装后由于平坦度、尺寸的不完全匹配或组装精度不佳等所导致的增加量。

3.1 液晶面板

影响液晶面板亮度均匀性的实质为透过率的均匀性。对于 ADS 模式的 TFT-LCD 显示器,透过率 T 与盒厚间的关系可由式(2)表示^[4]:

$$T = \frac{1}{2} \sin^2(2\theta) \sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right), \quad (2)$$

式中: θ 为液晶长轴与入射光偏振方向的夹角, $\delta = 2\pi(\Delta n)d/\lambda$ 为 o 光与 e 光的相位差,其中 Δn 为 o 光与 e 光的折射率差, d 为盒厚, λ 为波长。

根据式(2)可知,边缘盒厚的变化趋势是影响边缘透过率均匀性的重要因素。一般盒厚依照绿光波长($\sim 530 \text{ nm}$)下 o 光与 e 光相位差略小于 π 设计,在这种情况下,盒厚增大,可见光波长内的总体透过率将会升高。当边缘盒厚朝向屏幕内部增加或减小的速率过快时,将会引发屏幕边缘亮度的明显变化。决定边缘盒厚变化趋势的主要因素为显示区域周边的过渡空白区的支撑效果,当掩模版的设计已经确定下来后,可能对边缘支撑存在影响且易于调整的因子还有液晶量、硅球尺寸、硅球填充比、封框胶类型等^[5-7]。

除了边缘盒厚之外,液晶面板自身的平坦度也可能影响其透过率均匀性。

3.2 背光源

背光源由一侧呈带状排布的发光二极管输出线光源,由导光板、棱镜、扩散片等结构将线光源转换成面光源,并垂直射入液晶面板内。因此,背光所输出面光源的亮度均匀性对模组成品的亮度均匀性存在直接影响。此外,背光源各导光结构的平坦度等尺寸参数会影响背光源与液晶面板的组装匹配性,也可能对模组成品的光学特性产生一定影响。

3.3 老化工艺

老化工艺是当模组成品组装完成后,将成品置于一定的温度下保持一段时间,对产品内部的

应力进行释放的过程。老化后由于内应力的逐渐释放,由模组各个组装工序产生的形变能在一定程度上恢复,因此对液晶面板边缘的平坦性及盒厚均匀性可能有改善效果。

4 结果与讨论

4.1 液晶量

液晶量是成盒工艺的关键参数之一,对一系列显示特性有重要影响。图 4 所示为不同液晶量下边缘暗带程度的变化趋势箱线图,其中 M 为中心液晶量。

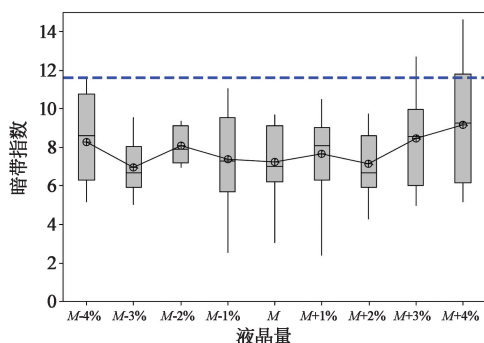


图 4 液晶量与暗带指数相关性

Fig.4 Correlation between liquid crystal amount and dark band index

可以看出,暗带指数与液晶量存在一定相关性,当液晶量适中时,暗带指数维持在一个稳定的范围内,无不良发生;当液晶量升高或者降低时,暗带指数均值虽然变化较小,但指数小于 4 的较轻现象出现几率减小。当液晶量继续升高时,暗带指数均值出现明显上升趋势,同时不良率上升,液晶量为 $M+4\%$ 时不良率达到 14.8%。这是由于当液晶量过高时,多余的液晶被挤入显示区外侧的过渡空白区,造成空白区的盒厚过高。作为空白区与显示区的连接位置,边缘盒厚会发生剧烈变化,进而导致亮度发生突变。而液晶量过低时,暗带指数也有一定恶化趋势。盒厚由于液晶量不足而减小,并且由于液晶自中心向边缘扩散,边缘盒厚减小的程度相比中心区域更多,导致边缘亮度相比中心区域下降更明显。因此,要保证暗带指数维持在较优的范围,需选取适中的液晶量,与设计的周边支撑效果相匹配。

4.2 硅球尺寸

硅球尺寸是影响盒厚的重要因素。当硅球尺

寸不同时,周边的支撑高度不同,边缘盒厚的变化趋势会存在一定差异。通过与盒厚的匹配性计算,采用尺寸为 5.4, 5.2, 4.8, 4.6 μm 的硅球进行实验,其中,不同的硅球尺寸引起的盒厚变化如图 5 所示。

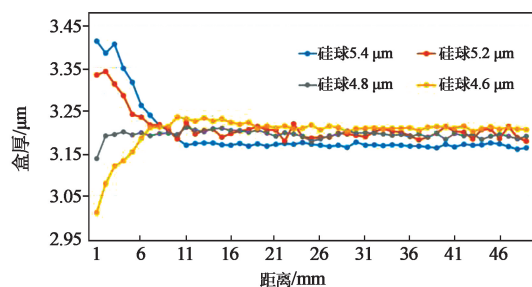


图 5 硅球尺寸与边缘盒厚对比

Fig.5 Comparison of silicon ball size and edge box thickness

可以看出,随着硅球尺寸的减小,显示区域的边缘盒厚出现明显下降趋势。硅球尺寸为 5.4 μm 及 5.2 μm 时,周边支撑能力较强,边缘盒厚相比中心区域偏高;硅球尺寸为 4.8 μm 时,边缘盒厚趋于平坦;而尺寸为 4.6 μm 时,支撑能力已不足,导致周边盒厚相比中心区域偏低。

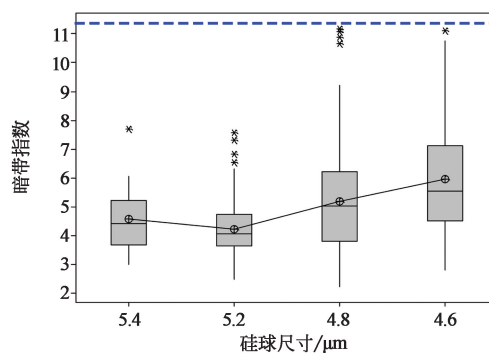


图 6 硅球尺寸与暗带指数相关性

Fig.6 Correlation between silicon sphere size and dark band index

图 6 所示为不同硅球尺寸下的暗带指数变化趋势。可以看出,硅球尺寸为 5.4 μm 和 5.2 μm 时均值差异不大,5.2 μm 时略优。但随着硅球尺寸的继续减小,暗带指数明显上升。当硅球尺寸下降到 4.6 μm 时,均值相比 5.2 μm 时上升了约 1.5,且不少测试品已接近规格上限。这与周边盒厚均匀性的规律基本一致,硅球尺寸越小,边缘盒厚越低,亮度变暗得越明显。因此,选取合适的硅

球尺寸可以降低暗带不良发生率。通过以上分析,最终确定合适的硅球尺寸为 $5.2\ \mu\text{m}$ 。

4.3 硅球掺杂比

图 7 所示为不同硅球掺杂比的边缘暗带程度对比。可以看出,采用 1.0% 和 1.5% 的硅球掺杂比,其暗带指数均值更优;而 0.5% 的硅球掺杂比,由于支撑能力稍弱,不利于保持周边盒厚平坦,导致边缘亮度均匀性稍差。但总体看差异幅度较小,硅球掺杂比影响有限。

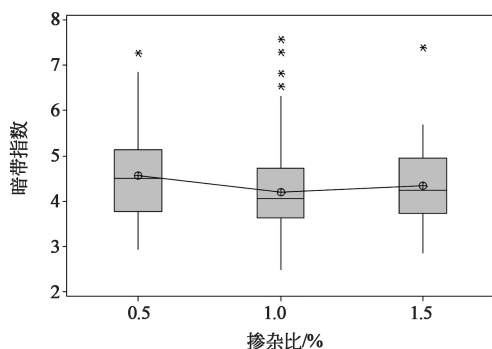


图 7 硅球掺杂比与暗带指数相关性

Fig.7 Correlation between doping ratio of silicon spheres and dark band index

4.4 封框胶种类

封框胶的杨氏模量不同,其固化后的高度(支撑能力)也有所区别。采用 3 种不同的封框胶进行对比,其中 A、B、C 胶的杨氏模量分别为 0.6, 1.0 及 1.5 GPa,即逐渐变硬。结果表明,封框胶越硬,成品的暗带指数越好。原因为较硬的封框胶,其固化后的形变更小,支撑能力更强。而较软的封框胶由于固化后形变大,支撑能力弱化,导致边缘盒厚变化大。

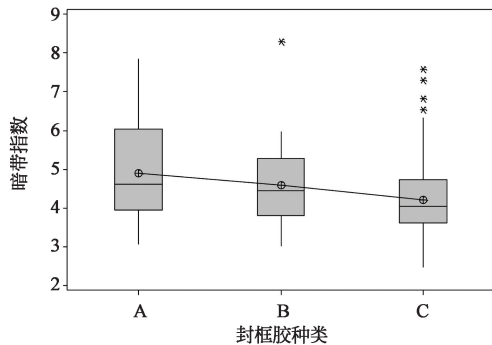


图 8 封框胶种类与暗带指数相关性

Fig.8 Correlation between types of sealant and dark band index

4.5 背光源相关性

图 9 所示为同一片背光源搭配不同液晶面板组成模组成品后,分别测量的亮度趋势曲线。可以看出,虽然液晶面板不相同,但总体亮度趋势差异较小,在边缘的亮度变化斜率也基本一致,因此在一定程度上,背光源的亮度均匀性将会被继承至模组成品上。

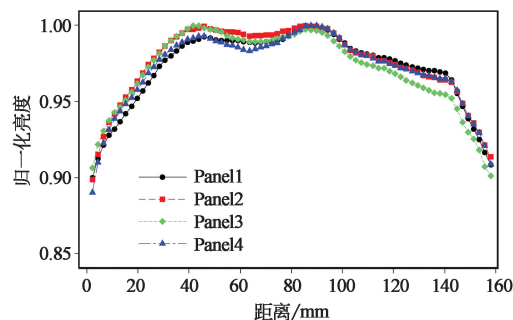


图 9 同一背光源搭配不同液晶面板的亮度分布曲线

Fig.9 Brightness distribution curves of the same backlight unit matching with different panels

采用相同批次的液晶面板,搭配不同批次的背光源,所得的结果如图 10 所示。易于发现,不同批次的背光源的暗带指数存在明显差异,搭配 A 批次背光源的暗带指数均值高达 8.9,不良率达到 9.7%,而搭配 E 批次背光源的均值仅为 4.8,无不良。对于不同批次背光源的单因子方差分析的相关系数 $P=0<0.05$,显著性极高。故可以确定背光源批次对于模组成品状态下的边缘亮度均匀性存在影响。

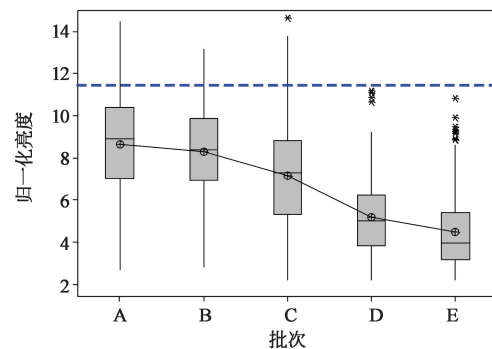


图 10 背光源批次与暗带指数对比

Fig.10 Comparison of batch of backlight unit and dark band index

图 11 对比了模组成品的暗带指数与其使用

的背光源入货检的暗带指数。奇怪的是,并未像预想的一样,边缘暗带程度严重的模组成品,其使用的背光源的边缘暗带程度也较严重,反而两者之间基本看不出趋势。但根据图 10 所示的结果,不同批次背光源模组成品的暗带指数确实存在显著差异。据此推测,背光源与液晶面板之间的组装过程对成品的边缘亮度均一性影响更大。不同批次的背光源之间虽然亮度均一性差异较小,但可能平坦度、裁切尺寸等外形参数存在差异,造成组装后匹配性不佳,导致成品暗带指数的批次性差异。如表 1 所示,对比了不同批次背光源扩散片的平坦度,其值越小表示越平坦。结果表明平坦度确实存在批次差异,暗带程度较轻的 E 批次,其扩散片确实比暗带较重的 A 批次更平坦。在此基础上我们增加了对背光源来料的平坦度管控项,有效降低了背光源导致的边缘暗带不良。

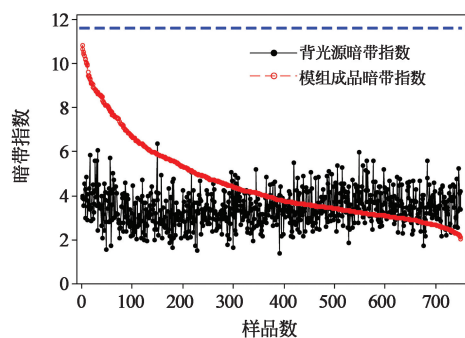


图 11 模组成品暗带指数与其使用的背光源暗带指数对比

Fig.11 Comparison of the dark band index between the finished module product and the backlight unit it used

表 1 扩散片平坦度与背光源批次对比

Tab.1 Comparison of the flatness of diffuser and the batch of backlight unit

批次	平坦度均值/mm	3 σ	过程能力 Cp
下扩 BLU-A	0.250	0.081 3	2.05
散片 BLU-E	0.152	0.084 7	1.97
上扩 BLU-A	0.252	0.067 8	2.46
散片 BLU-E	0.133	0.063 0	2.65

4.6 老化工艺

实验中发现,显示器静置于常温环境中自然老化一段时间后,其暗带不良有所改善,继续延长老

化时间后暗带指数趋于稳定,如图 12 所示。造成该现象的原因可能为,屏幕边缘部位,容易由于形变、不平坦性导致面光源入射进屏时的耦合、散射等损耗增加。自然老化期间模组各组装工序产生内部应力逐渐释放,形变在一定程度上恢复,故暗带程度有所减轻。为进一步验证,选取暗带程度较严重的样品,在 50 °C 的环境中进行高温老化测试,结果如图 13 所示。可以发现,在高温老化 2 h 后,暗带指数明显改善,均值由 10.0 降至 8.6,不良率由 23.1% 降至 0。但进一步延长老化时间至 4 h,暗带指数的降低并不明显。这与自然老化的效果一致,随时间延长暗带指数下降速率逐渐减缓,老化时间过长并不能持续改善暗带不良现象。

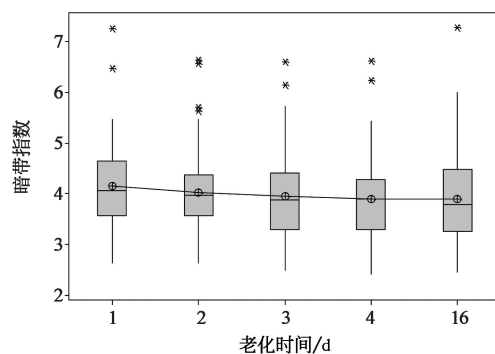


图 12 暗带指数随常温老化时间的变化趋势

Fig.12 Change trend of dark band index with aging time at room temperature

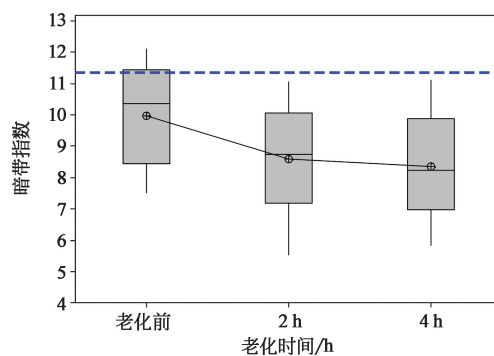


图 13 暗带指数随高温老化时间变化趋势

Fig.13 Change trend of dark band index with aging time at high temperature

4.7 液晶面板平坦度

参考 Jiang 等人对 L0 画面漏光的研究^[8],我们通过对控制上、下偏光片(POL)贴附的速度差,分别调整液晶面板的平坦度状态为四角翘取或趋

于平坦,其模组成品的暗带指数如图 14 所示。可以看出,更为平坦的液晶面板,其暗带指数均值更优。与老化的作用原理类似,平坦的液晶面板与背光源组装后的整体契合度更好,在一定程度上减少了面光源入射屏内时的耦合、散射等损耗。因此在实际制作中,选取上/下偏光片的贴附速度一致,保证液晶面板处于较为平坦的状态。

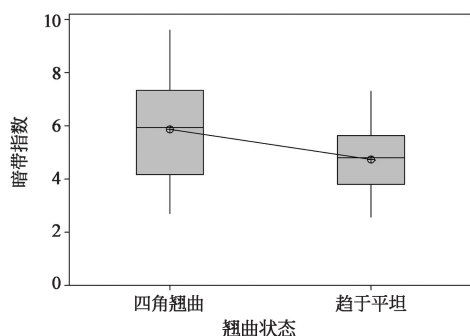


图 14 液晶面板翘曲状态与暗带指数的相关性

Fig.14 Comparison of status of panel warpage and dark band index

5 结 论

本文针对 TFT-LCD 显示器边缘亮度偏低、出现暗带的不良现象,对不良机理进行实验研究,并对相关影响因子逐一提出优化方向。结果表明:从液晶面板设计方向改善,均匀的边缘盒厚有助于提升边缘亮度均一性,故适中的液晶量、硅球尺寸、硅球掺杂比及较硬的封框胶更优,而贴附偏光片后更平坦的液晶面板其暗带程度相比存在四角翘曲趋势的面板更轻;从背光源方向改善,模组成品的边缘暗带程度与背光源批次存在强相关性,但主要受背光源平坦度等尺寸参数影响而非背光源自身的暗带程度。此外,老化工艺释放了背光源与液晶面板组装时产生的内应力,缓和边缘位置的形变,适当延长老化时间有利于降低暗带不良发生率。通过以上较优条件的导入,液晶显示器边缘暗带不良发生率由 9.3% 降至 0.2% 以下,有效提升了产品竞争力。

参 考 文 献:

- [1] 黄锡珉.液晶显示技术发展轨迹[J]. 液晶与显示,2003,18(1):1-6.
HUANG X M. Road-map of LCD technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2003, 18 (1): 1-6. (in Chinese)
- [2] 彭志红,袁野,林韵英,等.国内液晶显示技术的发展概况[J]. 电视技术,2013,37(S2):425-426.
PENG Z H, YUAN Y, LIN Y Y, *et al.* Development review of crystal liquid display in China [J]. *Video Engineering*, 2013, 37(S2): 425-426. (in Chinese)
- [3] 马群刚.TFT-LCD 原理与设计[M].北京:电子工业出版社,2011:45-47.
MA Q G. *Principle and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011: 45-47. (in Chinese)
- [4] 唐胜果,赵曼,王明明,等.基于田口法对无边框液晶模组 L0 漏光改善研究[J]. 液晶与显示,2019,34(7):667-675.
TANG S G, ZHAO M, WANG M M, *et al.* L0 light leakage in borderless module by Taguchi method [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2019, 34(7): 667-675. (in Chinese)
- [5] 邱永亮,李荣玉,顾筠筠.TFT-LCD 制造过程中的盒厚控制工艺研究[J]. 现代显示,2008(6):33-35,58.
QIU Y L, LI R Y, GU Y Y. LCD's gap control in TFT-LCD production [J]. *Advanced Display*, 2008(6): 33-35, 58. (in Chinese)
- [6] 王志龙,郑英花,马亮,等.L0 周边 Mura 分析及其改善研究[J]. 液晶与显示,2014,29(5):668-673.
WANG Z L, ZHENG Y H, MA L, *et al.* Research and improvement of L0 side Mura [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(5): 668-673. (in Chinese)
- [7] 见帅敏,解洋,夏高飞,等.TFT-LCD 边角漏光不良机理分析及改善研究[J]. 液晶与显示,2017,32(6):455-460.
JIAN S M, XIE Y, XIA G F, *et al.* Analysis and improvement of TFT-LCD edge light-leaking mechanism [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(6): 455-460. (in Chinese)
- [8] 姜勇勇,吴健,郭栋,等.平板电脑类产品暗态均匀性影响因素的研究与改善[J]. 液晶与显示,2019,34(11):1067-1072.

JIANG Y Y, WU J, GUO D, *et al.* Analysis and improvement research of black uniformity for tablet personal computer production [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2019, 34(11): 1067-1072. (in Chinese)

作者简介:



马 健(1993—),男,安徽马鞍山人,硕士,高级工程师,2018 年于武汉理工大学获得硕士学位,主要从事产品漏光不良改善及彩膜工艺相关的研究。E-mail: jeromema@foxmail.com



黄正峰(1982—),男,安徽阜阳人,硕士,2007 年于华东理工大学获得硕士学位,主要从事 TFT-LCD 液晶成盒及彩膜工艺相关的研究。E-mail: huang-zhengfeng@boe.com.cn