

文章编号:1007-2780(2019)06-0549-07

TFT-LCD 的 Line Zara 失效机制及改善

王 欢,于 翔*,朱凤稚,苏彦新,沈武林,郁信波,刘 旭

(成都京东方光电科技有限公司,四川 成都 611731)

摘要:为了彻底改善 TFT-LCD 的 Line Zara 不良,本文建立了 Line Zara 失效模型,并分析了 Line Zara 失效机制,其中 Line Zara 发生率与外力大小及玻璃弯曲形变程度成正比,与框胶至柱状隔垫物距离、框胶粘结力成反比。基于 Line Zara 的失效机制,针对性地提出了改善措施并进行了实验验证。实验结果表明,减薄时的抛光工艺、减薄后运输箱的填充密度和框胶粘结力对 Line Zara 有显著的影响。随着抛光压力的减小和时间缩短,Line Zara 发生率逐渐减少。随着运输箱中玻璃数量或隔垫物数量的增加,运输箱的填充密度逐渐增大,玻璃受外力发生的弯曲形变逐渐减小,相应的 Line Zara 发生率逐渐减小;当隔垫物为无尘纸时,玻璃的弯曲形变最小,Line Zara 发生率最低。此外,当框胶与 ITO 粘结力增加 12.5%、与 PI 粘结力增加 66%后,Line Zara 的发生率可降低至 2%以下。TFT-LCD 的 Line Zara 不良可通过降低抛光压力与时间、增加运输箱的填充密度和增加框胶粘结力彻底改善。

关键词: TFT-LCD; Line Zara; 失效机制; 弯曲形变; 抛光工艺; 填充密度; 框胶粘结力

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20193406.0549

Failure mechanism and improvement of TFT-LCD Line Zara defect

WANG Huan, YU Xiang*, ZHU Feng-zhi, SU Yan-xin, SHEN Wu-lin, YU Xin-bo, LIU Xu

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

Abstract: In order to improve Line Zara defect thoroughly, the failure model of Line Zara was firstly built to analyze its failure mechanism. Analysis shows that Line Zara ratio is proportional to external force and glass bending deformation, and inversely proportional to sealant adhesive strength and distance from sealant to PS. Based on the failure mechanism, some improvements were specifically suggested and confirmed by experiments. The results show that the polishing process, packing density of transportation boxes after slimming and sealant adhesive strength have a significant effect on Line Zara ratio. The Line Zara ratio decreases with the decreasing of the polishing pressure and time. With the increasing of the number of glass or spacer in packing box, the packing density increases gradually, so the glass bending deformation decreases, which leads to Line Zara ratio's decrease. When the type of spacer is air-laid paper, the glasses in box have the smallest bending deformation, the Line Zara ratio is lowest. In addition, the Line Zara ratio can be reduced to less than 2% when the sealant adhesive strength increases by 12.5% with ITO and 66% with PI. The Line Zara defect can be effectively improved by decreasing polishing pressure and time, increasing the packing density of transportation box and the sealant adhesive strength.

收稿日期:2018-10-29;修订日期:2019-01-29.

* 通信联系人, E-mail: yuxiang@boe.com.cn

Key words: TFT-LCD; Line Zara; failure mechanism; bending deformation; polishing process; packing density; sealant adhesive strength

1 引言

近年来,随着智能手机、智能穿戴产品的迅猛发展,消费者对小尺寸液晶显示(TFT-LCD)产品的各方面要求逐渐提高。为了满足智能穿戴产品的市场需求,小尺寸 TFT-LCD 必须能够实现轻薄化,同时不影响产品的正常画面显示。目前 TFT-LCD 的轻薄化主要依赖于减薄技术(Slimming),而各大面板厂商的主流减薄方案是将对盒后厚度为 0.8 mm(0.8 T)的屏送至减薄厂进行减薄,最终得到的 TFT-LCD 厚度仅为 0.4 T 或 0.36 T。

目前,减薄后的小尺寸 TFT-LCD 面临着批次性爆发的 Zara 类不良,严重影响了产品的良率和品质。现有的 Zara 类不良可简单地分为漏光类 Zara^[1]和异物类 Zara^[2]。其中异物类 Zara 的发生率最高,发生原因可分为以下几类:(1)取向膜(聚酰亚胺,PI 膜)进行摩擦配向工艺时,摩擦布上的异物掉落或 PI 膜因摩擦受损而产生 Zara,可通过更换摩擦布、调整取向工艺参数或增加 PI 膜厚度进行改善^[3];(2)PI 膜进行光配向工艺时,PI 膜分解产物的残留物导致 Zara,可通过加热修复或调整光配向的温度条件改善^[4];(3)在减薄工艺的抛光阶段,彩膜(Color Filter, CF)上的柱状隔垫物(Photo-Spacer, PS)及其表面的 PI 膜因挤压和摩擦受损导致 Zara,可通过调整抛光工艺参数或开发高强度的 PS 改善^[5]。同时,有一类 Zara 多沿液晶盒某一条边呈线性分布,称之为 Line Zara^[6]。

2 Line Zara 失效机制

现有的大量研究表明^[5-6],Line Zara 的发生多是 CF 上的 PS 及其表面的 PI 膜因挤压和摩擦受损造成,即 Line Zara 的失效可归结为摩擦力和挤压力共同作用的结果,故可将 Line Zara 的失效模型简化为材料力学中的梁在简单载荷作用下的受力问题。

图 1 是典型的 TFT-LCD 截面示意图,其中

框胶作为粘结剂,连接 TFT 与 CF,同时起到支撑作用;而 PS 均匀分布在盒内的 CF 面。图 2 为 PS 与 TFT 沟道的相对位置示意图,其中 PS 与 TFT 侧的半个沟道相接触,主要起到支撑盒厚的作用,所以当受到外部作用力时,PS 的表面首先与 TFT 侧沟道发生相互作用。当对盒玻璃受到振动或挤压等外部作用力时,玻璃会向上或向下发生弯曲变形,此时玻璃的受力情况可简化为简支梁在均布载荷 q 下发生弯曲变形的模型,如图 3 所示。

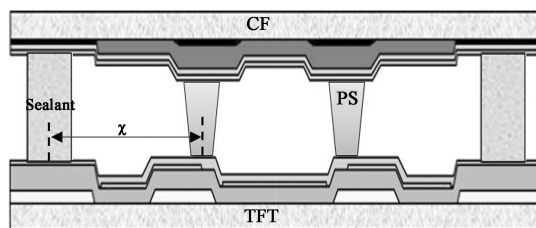


图 1 TFT-LCD 截面图

Fig.1 Cross section diagram of TFT-LCD

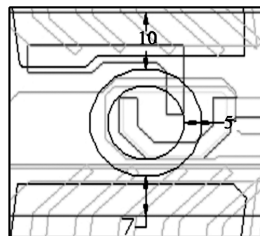


图 2 PS 与 TFT 面沟道的接触示意图

Fig.2 Schematic diagram of relative position with PS and TFT channel

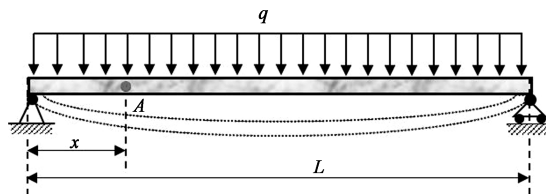


图 3 玻璃受外力时弯曲变形示意图

Fig. 3 Schematic diagram of glass bending deformation by external force

此时选取一点 A,由材料力学的相关理论可知^[7],点 A 受到剪力 F_A 的作用。当玻璃发生弯

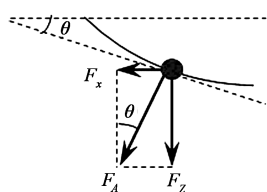


图4 玻璃弯曲时点A的受力分析图

Fig.4 Schematic diagram of A point force analysis

曲形变时,剪力 F_A 可分解为水平方向分力 F_x 和法向的分力 F_z ,如图4所示。此时的 F_A 、 F_x 、 F_z 的大小由以下公式决定:

$$F_A = q \frac{L}{2} - qx \quad x \in \left(0, \frac{L}{2}\right), \quad (1)$$

$$F_x = F_A \times \sin\theta, F_z = F_A \times \cos\theta, \theta \in \left(0, \frac{\pi}{4}\right), \quad (2)$$

其中:载荷 q 的大小与振动或挤压等外部作用力成正比。当 x 为0时,即在支点位置,玻璃弯曲变形的转角最大,且转角大小与外部载荷 q 成正比^[7]。

玻璃基板上的每个液晶盒是 TFT 基板与 CF 基板在框胶粘结作用下对盒获得的,当玻璃受外力发生弯曲形变时,玻璃基板上每个液晶盒的 CF/TFT 与框胶的相互作用与图3的模型相似,故将液晶盒的受力模型也简化为图3所示。此时 L 表示框胶之间的距离, x 表示 CF 面的 PS 至框胶的距离,所以当液晶盒受外力发生形变时, x 处的 PS 受到水平方向的 F_x , 表现为摩擦力;受到法向的 F_z , 则表现为挤压力。挤压力 F_z 使得 PS 表面与 TFT 沟道产生挤压,导致 PS 出现凹坑并受到损伤。摩擦力 F_x 使得 PS 表面与 TFT 沟道发生相对移动,导致 PS 表面与 TFT 沟道不断摩擦,使 PS 表面受损位置出现碎屑。当 F_z 越大时, PS 表面受损越严重;当 F_x 越大时, PS 表面受损处碎屑越多。故在长期的 F_z 与 F_x 作用下,碎屑逐渐进入像素区,造成 Zara 亮点。

当液晶盒受外力作用时, CF 面上的 PS 受到剪切力 F_A 作用。由公式(1)可知,保持 x 不变,当外部载荷 q 越大时,液晶盒所受 F_A 越大, PS 受损越严重,相应的 Zara 越多。外部载荷 q 越大时,支点处的转角越大,即液晶盒形变越大,此时 PS 所受的 F_x 越大, PS 受损后产生的碎屑越多, Zara 越严重。保持外部载荷 q 不变,当

x 的值越小时,液晶盒中越靠近框胶的 PS 所受到的 F_A 越大,故 CF 面最靠近框胶的 PS 表面受损程度最严重,相应的 Zara 亮点就会集中沿着框胶边缘分布,故该类 Zara 称之为 Line Zara。相应地,当有效显示区最边缘的 PS 距离框胶越近时, Line Zara 越严重。

以框胶为分析对象,框胶处的 x 为0, F_A 值最大,且此时的 θ 最大,即弯曲形变程度最大,所以框胶受到最大的摩擦力 F_x 作用,但由于框胶的作用为粘结 CF 与 TFT,故框胶会产生一个与 F_x 方向相反的粘结力作用,会抵消或减轻外力施加给液晶盒的水平方向作用力,减小水平方向因 F_x 造成的 PS 与 TFT 沟道的相对移动,从而减轻 Zara 碎屑的产生,最终减少 Line Zara 的发生。

综上所述, Line Zara 主要是玻璃受外力形变后 PS 与 TFT 沟道的挤压与相对摩擦使得 PS 受损产生碎屑所致,且 Line Zara 的发生分别与外力大小和玻璃弯曲形变程度成正比,与框胶至 PS 距离、框胶粘结力成反比。

3 实验方法

3.8WVGA 是一款减薄后厚度仅为 0.4 T 的小尺寸光配向产品。当减薄工厂变更后, 3.8WVGA 等一系列减薄产品的 Line Zara 不良发生率从 0.5%~2% 增加到 20%~40%。为了有效改善减薄产品的 Line Zara 不良,本文首先根据不良现象,利用显微镜和 AFM 测试等手段确认了 Zara 亮点的来源;其次,根据 Line Zara 的发生机理,在不改变 3.8WVGA 原有设计的情况下,对 Line Zara 进行改善并对改善效果进行了一系列验证。

4 实验结果及分析

4.1 Line Zara 不良现象及表征

由图5(a)可以看出, Zara 沿液晶盒长边的框胶边缘密集分布。从图5(b)和(c)可以看出, Zara 为一些细小的亮点,分布在像素内,而 Zara 附近的 PS 表面有明显的凹陷,凹陷痕迹与 TFT 沟道对应。从上述的不良现象及其表征的结果可以看出,该 Zara 亮点主要来源于受损 PS 及其表面 PI 膜的碎屑。根据 Line Zara 的发生机制可

知,这些 PS 碎屑主要来源于玻璃受外力形变后,PS 与 TFT 沟道的挤压与相对摩擦。

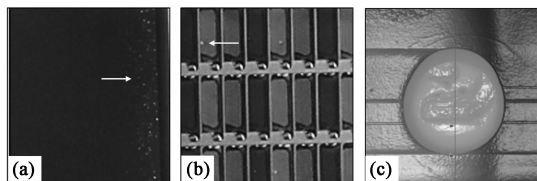


图 5 (a) Zara 宏观现象; (b) Zara 微观现象; (c) PS 表面形貌。

Fig.5 (a) Zara macro phenomenon; (b) Zara micro phenomenon; (c) PS surface morphology.

4.2 Line Zara 不良改善

由 Line Zara 的失效机制可知,Line Zara 的发生主要与玻璃所受外力大小和玻璃弯曲形变相关,其中外力大小主要与外界环境相关。首先,0.8 T 玻璃减薄抛光时,会直接受到抛光盘外力作用,故可考虑减少玻璃抛光时所受外力,改善 Line Zara 发生率。其次,当减薄工厂选定后,减薄玻璃的运输环境已确定,即运输过程中玻璃受外力情况已无法更改,但可通过减小玻璃在运输过程中的弯曲形变程度,来减少 Line Zara 的发生率。考虑到中小尺寸的窄边框和轻薄化市场需求,玻璃厚度、框胶至 PS 距离在产品的设计时就已固定,属于无法更改因素。框胶种类在设计时虽然已经固定,但在不影响产品信赖性的前提下,可通过变更框胶的种类来改变其粘结力,从而减少 Line Zara 的发生率。因此,本文旨在通过减小玻璃受外力的弯曲形变程度和增加框胶接着力来改善 Line Zara 不良。

4.2.1 抛光工艺对 Line Zara 不良的影响

0.8 T 玻璃减薄时,首先经过化学减薄,然后需要通过抛光工艺对玻璃表面进行物理抛光处理,以改善玻璃表面平整度。抛光工艺参数主要为压力 (g/cm^2)、转速 (r/min) 和时间 (min)。抛光时,0.4 T 玻璃直接受到抛光盘的压力作用,其压力不同时,玻璃所受外力大小也不相同。图 6 (a) 是抛光压力与 Line Zara 发生率的关系。从图可以看出,随着抛光压力逐渐增大,Line Zara 发生率逐渐增大。当抛光压力增大时,玻璃所受外部载荷 q 增大。由公式(2)可知,液晶盒中的 PS 受到的挤压力 F_z 增大,PS 表面与 TFT 沟道挤压导致 PS 产生的损伤程度

增强,PS 与 PI 膜碎屑越多,Line Zara 发生率越大。图 6 (b) 是抛光时间与 Line Zara 发生率的关系。由图可知,随抛光时间逐渐增加,Line Zara 发生率逐渐增大,特别是抛光时间大于 22.5 min 之后,Line Zara 发生率大幅度增加。物理抛光是抛光圆盘在一定压力下对玻璃表面进行旋转摩擦的结果,因此在抛光时,玻璃会持续受到水平方向的摩擦力 F_x 的作用。当抛光时间较小时,摩擦力对 PS 的损伤较小,Line Zara 发生率较低;当抛光时间较大时,摩擦力 F_x 对 PS 的累积破坏作用增大,相应的 PS 受损程度越大,Line Zara 发生率越高。

由上述可知,Line Zara 发生率可通过减小抛光工艺中的抛光压力和抛光时间改善。但由于考虑到抛光质量,为避免出现玻璃表面平整度不合格和轮印等不良,抛光压力和时间均不易选取太小,因此抛光工艺对 Line Zara 的改善效果有限。

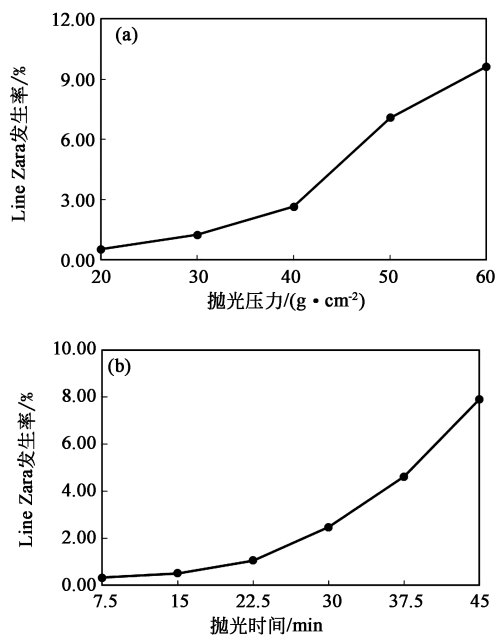


图 6 抛光时间对 Line Zara 发生率的影响

Fig.6 Effect of the polishing pressure(a) and (b) time on Line Zara ratio

4.2.2 运输箱填充密度对 Line Zara 不良的影响

减薄后运输过程中的玻璃放置方式如图 7 所示。传统外发减薄后,因为玻璃厚度仅有 0.4 T,为了防止运输过程破片,减薄后的玻璃横向放置于运输箱中,每个玻璃中间放置隔垫物,并且会额

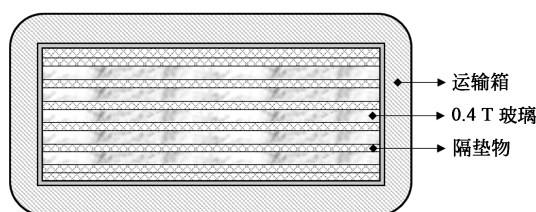


图7 玻璃包装示意图

Fig.7 Schematic diagram of glass packing

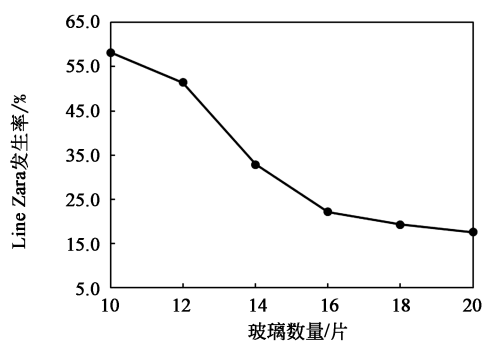
外放置隔垫物保持运输箱被充满。当运输距离较远或运输环境较差时,存放玻璃的运输箱必然会发生不同程度的振动,而其中的玻璃也必然会受外力发生弯曲形变。当运输箱中填充的玻璃数量、隔垫物数量和隔垫物种类不同时,运输箱的填充密度不同,相应的玻璃受外力后弯曲形变的程度也不同。

图8(a)是保持运输箱中隔垫物种类且隔垫物数量相同时,其中的玻璃数量与Line Zara发生率的关系。从图8(a)可以看出,0.4 T玻璃的Line Zara发生率随玻璃数量增加而减小。运输箱中玻璃数量越多,运输箱的填充密度越大,在外力作用下玻璃越不容易发生弯曲变形。由公式(2)可知,玻璃弯曲形变越小, θ 越小,相应的液晶盒中的PS受到的水平方向摩擦力 F_x 越小,PS与TFT沟道摩擦后产生的碎屑越少,Line Zara发生率越低。

图8(b)、(c)分别是厚度为0.4 T的玻璃数量一致时,隔垫物数量和种类与Line Zara发生率的关系。由图8(b)可知,Line Zara的发生率随隔垫物数量的增加而减小。当外部载荷一定时,隔垫物数量越多,运输箱填充密度越大,玻璃受外力发生的弯曲形变越小,PS与TFT沟道摩擦后产生的碎屑越少,Line Zara发生率越低。由图8(c)可知,当隔垫物为无尘纸时,Line Zara发生率最低;隔垫物为垫棉时,Line Zara发生率最高。隔垫物填充厚度一致时,由于垫棉材质更加柔软,故在外力作用下垫棉比无尘纸更容易发生压缩,导致玻璃存在更大的弯曲形变空间,使得玻璃的弯曲形变越大,PS与TFT沟道摩擦后产生的碎屑越多,Line Zara发生率越大。

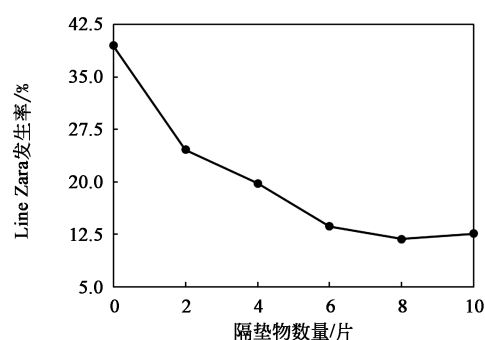
4.2.3 框胶粘结力对Line Zara不良的改善

TFT-LCD的TFT侧与CF侧在ODF工艺时通过框胶粘结,框胶粘结面大部分与ITO层接



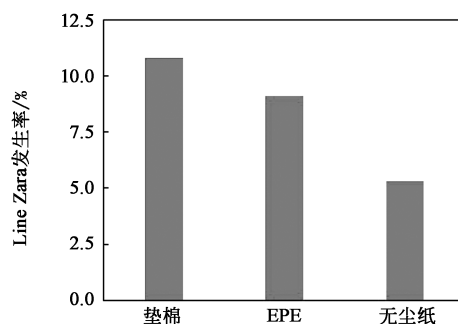
(a) 运输箱中玻璃数量对Line Zara发生率的影响

(a) Effect of the quantity of glass on Line Zara ratio



(b) 运输箱中隔垫物数量对Line Zara发生率的影响

(b) Effect of the quantity of spacer on Line Zara ratio



(c) 运输箱中隔垫物类型对Line Zara发生率的影响

(c) Effect of the type of spacer on Line Zara ratio

图8 运输箱中玻璃数量(a)、隔垫物数量(b)和隔垫物类型(c)对Line Zara发生率的影响。

Fig.8 Effect of the quantity of glass(a), quantity of spacer(b), and type of spacer(c) on Line Zara ratio.

触,少部分与PI膜接触,因此框胶的粘结力主要由ITO接着力、PI接着力共同决定。表1是4种型号框胶的部分物理化学性质参数,图9是框胶粘结力与Line Zara发生率的关系。

表 1 框胶的相关性质
Tab.1 Properties of sealant

	S-17	S-101	S-86	S-85
$T_g/^\circ\text{C}$	150	105	105	118
透湿率($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 24 \text{ h}$)	44	85	83	50
吸水率/%	2.2	3.2	3.0	2.6
ITO 粘结力/ $(\text{kg} \cdot \text{cm}^{-1})$	3.2	3.2	3.6	3.6
PI 粘结力/ $(\text{kg} \cdot \text{cm}^{-1})$	2.3	3.3	3.0	3.5

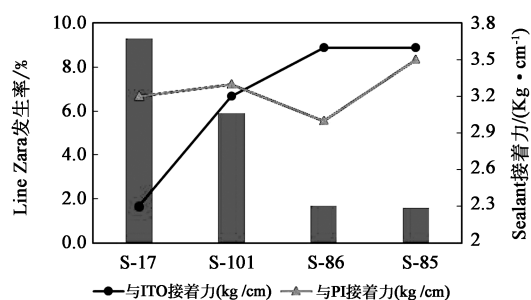


图 9 框胶粘结力对 Line Zeta 发生率的影响

Fig.9 Effect of the adhesive strength of sealant on Line Zeta ratio

由图 9 可知,随着框胶与 ITO 粘结力和 PI 粘结力的增加,Line Zeta 发生率明显下降。S-86、S-85 的框胶与 ITO 接着力相当,其 Line Zeta 发生率相对最低。由 Line Zeta 失效机制可知,框胶的粘结力越强,其抵消或减轻外力施加给液晶盒的水平方向作用力能力越强,从而减小水平方向因 F_x 造成的 PS 与 TFT 沟道的相对摩擦,

减轻了 Zeta 碎屑的产生,最终减少 Line Zeta 的发生。3.8 寸产品的 Line Zeta 不良高发时采用的框胶是 S-17,将其变换成 S-86 或 S-85 后,框胶与 ITO 接着力增加 12.5%、与 PI 接着力增加 66%,可使得 Line Zeta 的发生率降低 7%,此时的 Line Zeta 发生率保持在 2%以下,说明框胶粘结力的增大能够显著降低 Line Zeta 的发生率。

变更框胶后的产品一定要满足信赖性,由于 S-86 的透湿率和吸水率很高,当运行环境试验 THO(65 $^\circ\text{C}$ 、93%RH)时,容易爆发因水汽污染而导致的 Corner Mura^[8],因此选择 S-85 代替 S-17 作为量产框胶,可将减薄产品的 Line Zeta 控制在 2%以下,实现 Line Zeta 不良的有效改善。

5 结 论

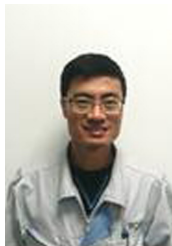
为了彻底改善减薄 TFT-LCD 的 Line Zeta 不良,本文首先建立了 Line Zeta 失效模型,分析了 Line Zeta 失效机制,Line Zeta 发生率分别与外力大小及其导致的玻璃弯曲变形程度成正比,与框胶至 PS 距离、框胶粘结力成反比。基于 Line Zeta 的失效机制,针对性地提出了改善措施并进行了实验验证。实验结果表明,减小减薄时的抛光压力和时间,可一定程度上降低 Line Zeta 发生率;增大减薄后运输箱的填充密度,可大幅度降低玻璃受外力的弯曲形变,有效降低 Line Zeta 的发生;同时增大液晶盒对盒中框胶的粘结力,可实现对 Line Zeta 不良的有效改善。

参 考 文 献:

- [1] 高荣荣,陈杰,刘俊豪,等.TN 型产品 Zeta Domain 理论研究与分析改善[J].液晶与显示,2016,31(3):242-248.
GAO R R, CHENG J, LIU J H, *et al.* Theory research and analysis of Zeta Domain on TN mode [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2016, 31(3): 242-248. (in Chinese)
- [2] 刘利萍,吴涛,刘俊豪,等.小尺寸 FFS 产品 Zeta 分析与改善研究[J].液晶与显示,2014,29(5):697-702.
LIU L P, WU T, LIU J H, *et al.* Analysis and improvement of small size FFS mode Zeta defect [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2014, 29(5): 697-702. (in Chinese)
- [3] 王海成,董天松,郑英花,等.TFT-LCD 制程中 Zeta 点状不良的产生与改善研究[J].液晶与显示,2013,28(5):707-710.
WANG H C, DONG T S, ZHENG Y H, *et al.* Occurrence and improvement of Zeta particle in TFT-LCD cell process [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2013, 28(5): 707-710. (in Chinese)
- [4] 张龙,陈霖冬,江桥,等.非接触式配向工艺(光配向工艺) Zeta Particle 不良产生机理分析及改善方向研究[J].电子世界,2017,(11):117-119.
ZHANG L, CHEN L D, JIANG Q, *et al.* Research on non-contact alignment process (Optical alignment process)

- Zara particle defection mechanism analysis and improvement direction [J]. *Electronic World*, 2017, (11): 117-119. (in Chinese)
- [5] 范宇光,李京鹏,宋省勋,等.液晶显示屏线性碎亮点的分析与改善对策[C]//2014中国平板显示学术会议论文集,南京:中国光学学会电子行业协会液晶分会,中国物理学会液晶分会,中国电子学会,2014:108-110.
FAN Y G, LI J P, SONG S X, *et al.* Analysis and improvement of linear bright spot of LCD [C]// *Proceedings of the 2014 Chinese Academic Conference on Flat Panel Display*, Nanjing: China Optics and Optoelectronics Manufacturers Association LCB, LCD Branch of China Physics Society, China Electronics Society, 2014:108-110. (in Chinese)
- [6] 陈杰,管礼志,孟凡维,等.TFT-LCD边角Zara Particle研究和改善[J].数字通信世界,2015(8):188-189.
CHEN J, GUAN L Z, MENG F W, *et al.* Research and improvement of corner Zara Particl in TFT-LCD [J]. *Digital Communication World*, 2015(8): 188-189. (in Chinese)
- [7] 聂毓琴,孟广伟.材料力学[M].第2版.北京:机械工业出版社,2012:159-164.
NIE Y Q, MENG G W. *Mechanics of Materials* [M]. 2nd.ed. Beijing: Machinery Industry Press, 2012:159-164. (in Chinese)
- [8] 王绍华,吴飞,宣津,等.TFT-LCD工艺中角落白Mura的成因机理研究与改善[J].液晶与显示,2018,33(7):583-589.
WANG S H, WU F, XUAN J, *et al.* Research and improvement of corner white Mura in TFT-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2018, 33(7):583-589. (in Chinese)

作者简介:



王欢(1990—),男,甘肃庆阳人,硕士,2016年于华中科技大学获得硕士学历,主要从事TFT-LCD新工艺开发与失效分析的研究工作。E-mail: wanghuancd@boe.com.cn



于翔(1987—),男,黑龙江绥化人,本科,2010年于电子科技大学获得学士学位,主要从事TFT-LCD新工艺开发与失效分析的研究工作。E-mail: yuxiang@boe.com.cn