

高温接着力对液晶气泡的影响

刘翔, 陈炎, 吴伟, 代俊锋, 李凯, 刘斌, 吴思翔

引用本文:

刘翔, 陈炎, 吴伟, 等. 高温接着力对液晶气泡的影响[J]. 液晶与显示, 2021, 36(8): 1113–1120.

LIU Xiang, CHEN Yan, WU Wei, et al. Effect of high temperature adhesion on liquid crystal bubbles[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2021, 36(8): 1113–1120.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2021-0037>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

TN型液晶面板气泡不良分析研究与改善

Analysis and improvement of bubble defect in TN mode liquid crystal panel

液晶与显示. 2019, 34(7): 634–639 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193407.0634>

TFT-LCD边缘暗带不良机理研究与改善

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

液晶与显示. 2020, 35(11): 1134–1141 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203511.1134>

TFT-LCD一种绿Mura机理分析和改善

Mechanism analysis and improvement of TFT-LCD green Mura

液晶与显示. 2021, 36(8): 1136–1143 <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2020-0337>

基于彩色滤光片柱状隔垫物高度的液晶滴下工艺

LC drop process based on PS height of color filter

液晶与显示. 2020, 35(5): 437–443 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203505.0437>

高温竖向串扰发生机理的定量研究

Quantitative study on the mechanism of high temperature vertical crosstalks

液晶与显示. 2021, 36(8): 1128–1135 <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2021-0021>

文章编号:1007-2780(2021)08-1113-08

高温接着力对液晶气泡的影响

刘 翔*, 陈 炎, 吴 伟, 代俊锋, 李 凯, 刘 斌, 吴思翔

(武汉京东方光电科技有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘要:本文对大尺寸产品中发生的高温运行液晶气泡不良进行了系统的分析与研究,从不良现象、机理假设出发,通过实验复现,总结出该不良的根因:封框胶在高温环境下,其接着力大幅下降,导致产生液晶气泡不良。论证了通过选用高 T_g 点封框胶材料和优化接着界面,提升其高温接着力,从而有效地解决此不良,确保产品品质,对提升液晶显示器生产良率和客户满意度具有重要意义。

关 键 词:封框胶;液晶气泡;高温接着力;接着界面

中图分类号:TN141.9;TH691.9 **文献标识码:**A **doi:**10.37188/CJLCD.2021-0037

Effect of high temperature adhesion on liquid crystal bubbles

LIU Xiang*, CHEN Yan, WU Wei, DAI Jun-feng, LI Kai, LIU Bin, WU Si-xiang

(Wuhan BOE Optoelectronics Technology Co., Ltd., Wuhan 430000, China)

Abstract: The liquid crystal bubble defect occurred in large-size products under high-temperature-operation-test are systematically analyzed and summarized from the occurrence of the defect, hypotheses on the mechanism, and through experimental tests to verify the hypothesis mechanism. It is concluded that the adhesive of the sealant is reduced greatly in the high temperature environment, resulting in the formation of liquid crystal bubble defect. At the same time, it is demonstrated that by selecting sealant materials with high T_g point and optimizing the bonding interface, the high-temperature adhesion is improved, thereby the problem is solved effectively, the product quality is ensured, and the production yield of LCD monitors and customer satisfaction are improved.

Key words: sealant; liquid crystal bubbles; high-temperature adhesion; interface

1 引 言

液晶气泡为显示屏生产中的一种常见不良,其与产品设计和工艺生产等方面有一定的相关性^[1]。液晶气泡不良大致可分为空气气泡和真空

气泡两大类^[2]。因封框胶而产生的气泡大多为空气气泡。封框胶的密封不佳时,由于液晶盒内气压小,外界的空气渗入盒内,导致产生液晶气泡。这种空气气泡在加热状态下变大,降温状态下变小,同时,使用显微镜观察封框胶周边边缘位置会有液晶泄漏现象^[3-4]。

收稿日期:2021-02-04;修订日期:2021-03-18.

* 通信联系人, E-mail:10158784@boe.com.cn

同时,随着人们对液晶显示器件品质要求逐步提升,窄边框、全面屏等产品已成为高品质显示的主流^[5]。这类产品的封框胶面积一般较窄,极易发生因封框胶接着力不佳导致的液晶气泡不良。如何提升封框胶的接着力,是框胶厂商和液晶面板厂商关注的重点。

通常,影响液晶盒密封性能的因素大致可以分为设备涂覆稳定性以及材料自身特性。当设备无涂覆不良时,液晶气泡不良主要因封框胶的接着力较差引起,其影响因素^[6]主要有:(1)接着界面:OC(Over coat,平坦化层)、配向膜 PI(Polyimide)^[7]、氮化硅钝化层 PVX(Passivation SiN_x)等;(2)封框胶的固化率;(3)封框胶自身特性;(4)封框胶宽度。

本文针对 G10.5 工厂 139.7 cm(55 in)产品发生的固定位置液晶气泡不良,从不良现象、影响因素、机理假设分析并通过实验论证,明确了不良产生的原因并加以改善,确保产品品质,提升了生产良率与客户满意度。

2 不良现象与假设机理

厂内生产的 139.7 cm(55 in)产品在进行高温点灯信赖性测试(High Temperature Operation Test, HTO, 60 °C)时,24 h 固定位置发生有液晶气泡(Bubble)的现象,如图 1 所示。不良区域封框胶已发生开裂,阵列基板(Thin Film Transistor, TFT)与彩膜基板(Color Filter, CF)完全剥离,拆屏后,不良区域封框胶完全剥离在 TFT 侧。

通过微观电子扫描显微镜(SEM)确认,在 SEM 下,仅不良区域可见封框胶与氮化硅钝化层 PVX 存在分裂痕迹,如图 2 所示。根据宏观显微

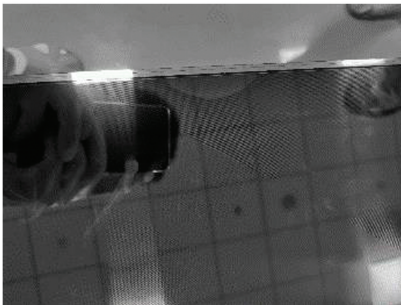


图 1 液晶气泡

Fig.1 Liquid crystal bubble

镜和微观 SEM 的观察结果可推测其原因为:(1)封框胶固化不足,导致接着力较差。(2)显示屏在 HTO 环境中高温影响,轻微变形,同时在固定位置有应力干涉,使得封框胶与 OC 剥离,造成封框胶与 TFT 间的缝隙。(3)封框胶接着界面处的 PVX(OC)层的表面粗糙度异常,导致相互间的接着力较差。(4)封框胶与 PVX 的高温接着力较差。封框胶与 PVX 之间由于接着力差,在外界大气压挤压下,盒内液晶从接着弱区渗出,形成盒内液晶与盒外空气通道,导致局部 PVX 开裂,因力相互作用导致封框胶与 OC 剥离^[8]。⑤封框胶与 OC 的高温接着力差。在封框胶与 OC 剥离过程中,由于力的相互作用,封框胶与 TFT 基板中的 PVX 层出现开裂现象。

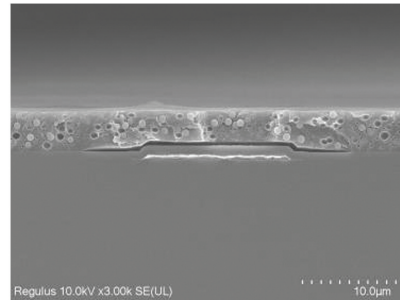


图 2 封框胶与 PVX 缝隙的 SEM 图

Fig.2 SEM image of gap between sealant and PVX

3 测试设备及方法

3.1 测试设备

实验所使用的测试仪器主要有显微镜(Microscope, SEC-2000-ST-945),扫描电子显微镜(SEM Regulus8100, HITACHI),原子力显微镜(AFM, XE15, Park),拉拔力设备(美国英斯特朗材料试验 5965)。

3.2 测试方法

(1)HTO 高温环境运行测试(60 °C)

剥离力测试(Pressure Cook Test & Peel off, PCT): PCT 测试条件为将液晶盒置于 121 °C、100%湿度、2 个大气压的环境中观察 12 h&24 h,看显示屏是否存在液晶气泡不良。Peel off 是在不同时间 PCT 后测试显示屏的剥离情况, PCT 前剥离力: Spec. ≥ 14.7 N(1.5 kgf), PCT 后剥离力: Spec. ≥ 2.98 N(0.3 kgf)。

(2) 常高温接着力测试

将液晶盒置于恒温箱中,进行剥离力测试,如图3所示。

(3) 拉拔测试^[9]

使用特制的胶水将液晶盒上下基板粘附在测试探头上,将上基板的探头往外拉扯,直到上下基板分离(脱胶和破裂视为无效数据),读取拉力感应仪器,记录下上下基板分离瞬间的拉力。拉拔力值越大,框胶耐拉(接着力)性能越好。

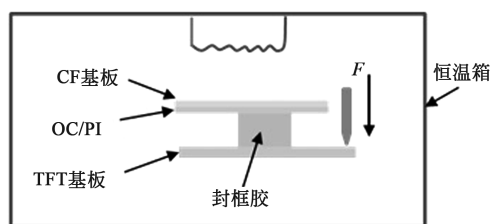


图3 常/高温接着力测试示意图

Fig.3 Diagram of normal/high temperature adhesion test

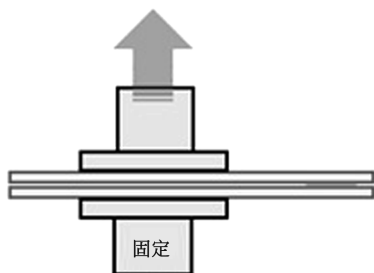


图4 拉拔测试示意图

Fig.4 Diagram of tension test

4 假设验证

通过上述的4种假设进行一些相关性实验验证,进行不良现象的复现。

4.1 固化率测试

TFT与CF对盒后,封框胶所在位置上有金属走线,在进行紫外光(UV)固化时,金属线对UV光有一定的遮挡,若开口率不足,封框胶的固化率会较低,导致封框胶的接着力较差。

将不良区(NG)和完好区(OK)样品取出,对金属线区域(Line)与金属线间隙区域(Open)进行封框胶的固化率测试,并与无金属线遮挡区域(Ref.)封框胶固化率对比。测试位置如图5所示。图6为封框胶固化率结果。从图中可看

出,以无金属线遮挡区域(d)处固化率值为1做数值处理,不良区与完好区封框胶中起主要作用的亚克力树脂和环氧树脂成分的固化率均在0.99~1.02,两者间的固化率无差异,因此该不良的产生与封框胶固化率无关。

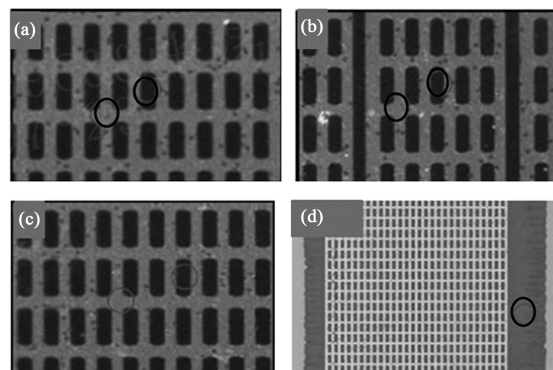


图5 (a), (c) NG区固化率测试; (b) OK区固化率测试; (d) 无金属线遮挡区固化率测试。

Fig.5 (a), (c) Curing rate test of NG zone; (b) Curing rate test of OK zone; (d) Curing rate test for the area without metal wire shielding.

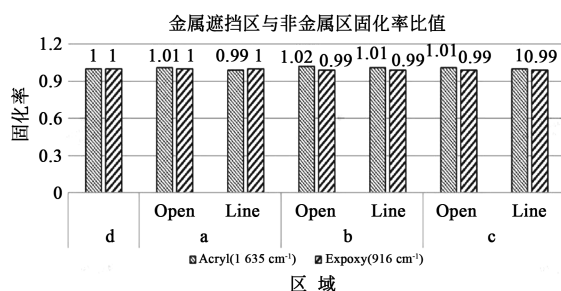


图6 封框胶固化率结果

Fig.6 Curing rate results of frame sealant

4.2 应力干涉验证

通过复查显示屏发生液晶气泡所使用的的背光源,发现在背光下部中心位置(匹配不良区)有一凸起支撑点,同时,在高温环境下,显示屏上的偏光片失水收缩,显示器也会产生一定的形变(Deformation),导致中心点应力集中。由于应力干涉的影响,使得应力点处框胶受到剪切力的作用,导致不良(Bubble)的产生。

使用未发生液晶气泡不良的液晶盒,制备两端非齐边并带有封框胶的样品,如图7所示,使用夹子将两边夹住,使上下基板受到相对力的作用,这样封框胶会受到剪切力的作用,模拟应力干涉现象。受力48 h后,样品未发生TFT与CF分离

现象。将该样品制备 SEM 小样,进行 SEM 观察,发现无 PVX 与封框胶分离迹象,如图 8 所示,说明应力影响不是该不良发生的主导因素。

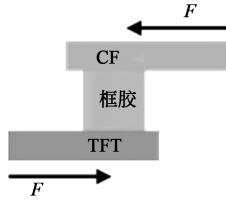


图 7 剪切力示意图

Fig.7 Diagram of shear force

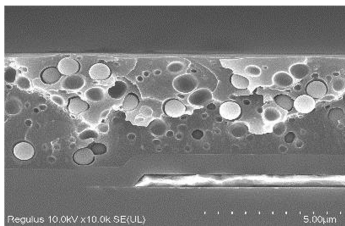


图 8 剪切力模拟 SEM 结果

Fig.8 SEM results of shear force simulation

4.3 表面粗糙度测试

若不良区金属电极上方 PVX 层或 OC 层表面粗糙度与完好区有差异,成盒后的封框胶在接着界面的形态会存在差异,导致封框胶与 PVX (OC)的接着力异常,产生高温液晶气泡不良。

制备不良区 (NG) 与完好区 (OK) 的 TFT 侧/CF 侧基板样品,使用 AFM 设备测试两侧封框胶附近 PVX 层和 OC 层平坦度,对比不良区与完好区 PVX 表面和 OC 表面平坦度的差异。经过 AFM 分析,不良区 PVX 与 OC 的表面粗糙度 (Ra 值) 分别为 25 nm 和 15 nm,完好区 PVX 与 OC 的表面粗糙度分别为 30 nm 和 13 nm,NG 区与 OK 区域的表面粗糙度无明显异常,如图 9 所示,该结果说明表面粗糙度差异假设不成立。

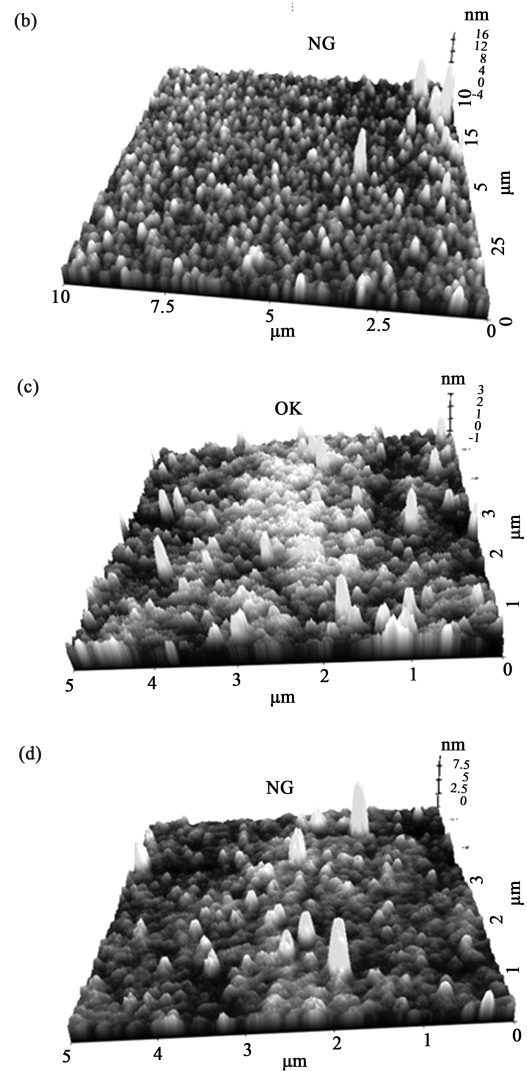
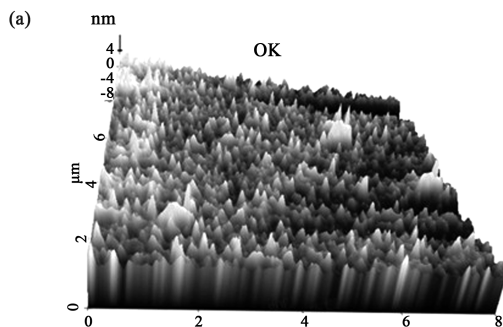


图 9 (a),(b) OK 区与 NG 区 PVX 表面粗糙度;
(c),(d) OK 区与 NG 区 OC 表面粗糙度。

Fig.9 (a),(b) PVX surface roughness in OK zone and NG zone;(c),(d) OC surface roughness in OK zone and NG zone.

4.4 高温接着力模拟

在液晶盒的非齐边上施加点应力,常温下,48 h 无气泡产生。由于 HTO 气泡的发生需要时间较长,为了加速该不良的发生,模拟高温恶化实验,如图 10 所示,使用热风枪对施加应力点进行加热,逐步升高温度,使受力点处液晶盒发生气泡。通过 SEM 观察到封框胶与 PVX 有分离现象,如图 11 所示,拆屏后,可观察到该处封框胶与 OC 剥离。不良现象得到复现,说明封框胶与 OC 的高温接着力差是产生气泡的主因。

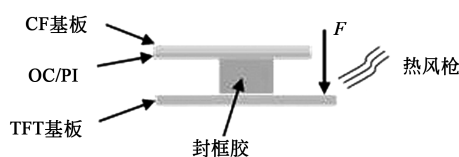


图 10 高温恶化模拟示意图

Fig.10 Schematic diagram of high temperature deterioration simulation

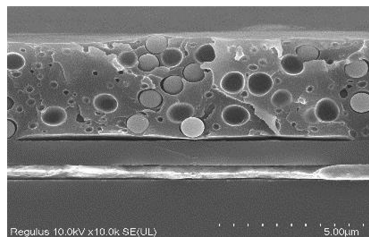


图 11 高温恶化模拟 SEM 结果

Fig.11 Simulated SEM results of high temperature deterioration

通过上述 4 种假设验证实验,可得出发生 HTO 气泡的主因是由于封框胶与 OC 的高温接着力较差,次因是测试背光有固定凸起支撑点,与液晶盒接触位置出现应力集中,因此发生固定位置 HTO 气泡不良。而造成封框胶与 PVX 处的缝隙原因为封框胶与 OC 剥离过程中,由于力的相互作用,使得封框胶与 PVX 界面受到一个拉扯力。

5 改善验证

通过假设机理验证实验,得出产生液晶气泡不良的主要原因是封框胶与 OC 的接着力较差导致,根据这一方向提出两种解决方案。(1)接着界面间材料变更,封框胶 S1 和 S2,OC C1 和 C2;(2)接着界面变更,封框胶与 OC 接着,封框胶与 PI(配向膜)接着。通过厂内 HTO 和 PCT&Peel off 信赖性测试,常温拉拔测试和常高温接着力测试,评估各接着界面间差异,选出最优搭配。

5.1 OC 材料变更

采用厂内目前量产的 OC C1 和 C2,用相同的工艺条件制备出液晶盒成品,封框胶采用 S1,进行厂内评价测试。测试结果如表 1 和图 12 所示。从表 1 可以看出,两种 OC C1 和 C2 均在信赖性测试中发生液晶气泡,因此 OC 材料的变更

对该不良无改善作用。

表 1 不同 OC 间信赖性测试结果

Tab.1 Reliability test results among different OC

Item	HTO	PCT&Peel off	拉拔力/ N
C1	发生液晶气泡 &.48 h	OK	402
C2	发生液晶气泡 &.48 h	OK	244

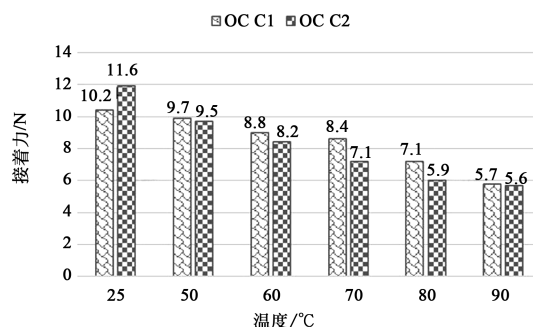


图 12 OC C1 与 C2 和封框胶的常/高温接着力

Fig.12 Normal/high temperature adhesion of OC C1 or C2 to sealant

5.2 封框胶材料变更

采用厂内目前量产的封框胶 S1 和 S2,用相同的工艺条件制备出液晶盒成品,OC 采用 C2,进行厂内评价测试。测试结果如表 2、图 13 所示。从表 2 可以看出,使用封框胶 S2 在信赖性测试中未发生有液晶气泡现象,说明该不良可通过封框胶材料的变更进行改善;从图 13 可以看出,封框胶 S1 随温度的升高,其接着力下降较明显,相比于常温,当温度上升到 80 ℃时,其接着力下

表 2 不同封框胶信赖性测试结果

Tab.2 Reliability test results of different frame sealants

Item	HTO	PCT&Peel off	拉拔力/ N
S1	发生液晶 气泡 &.48 h	OK	402
S2	无液晶 气泡发生	OK	460

降 49.6%，而封框胶 S2 的接着力下降 8.3%，封框胶 S2 的高温接着力性能明显优于封框胶 S1。从拉拔力和常温接着力结果来看，常温下封框胶 S2 的粘附力优于封框胶 S1。因此，在接着力性能上，封框胶 S2 优于 S1。

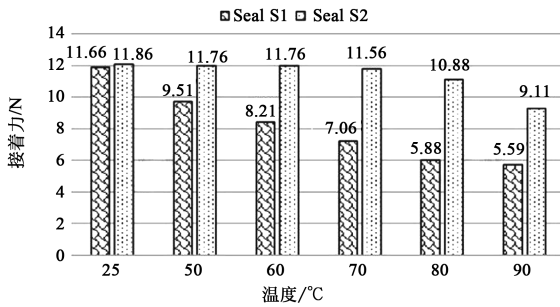


图 13 封框胶 S1 与 S2 的常/高温接着力
Fig.13 Normal/high temperature adhesion between frame sealant S1 and S2

表 3 不同接着界面信赖性测试结果
Tab.3 Reliability test results of the different interface

Item	HTO	PCT&.Peel off	拉拔力/ N
S1&.C2	发生液晶 气泡 &.48 h	OK	402
S1&.PI	无液晶 气泡发生	OK	441
S2&.C2	无液晶 气泡发生	OK	510
S2&.PI	无液晶 气泡发生	OK	715

5.3 接着界面变更

通过 PI 涂布工艺变更，由原来的面板涂布变化成彩膜侧基板全涂布，使得封框胶与 PI 膜接着。测试结果如表 3 和图 14、15 所示。由表 3 可知，通过变更接着界面，使得封框胶与 PI 接着，可改善 HTO 气泡的发生。不论是封框胶 S1 还是 S2，与 PI 接着的常温拉拔力测试结果均优于与 OC 接着。从图 14、15 可以看出，封框胶 S1 与 S2 与 PI 的常高温接着力均优于与 OC。这说明在接着力性能上，封框胶/PI 接着界面优于封框胶/OC。

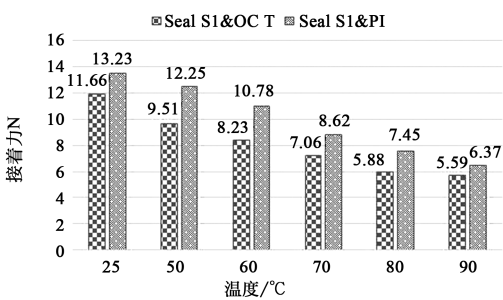


图 14 封框胶 S1 与 OC C2 和 PI 的常/高温接着力
Fig.14 Normal/high temperature adhesion of frame sealant S1 or OC C2 to PI

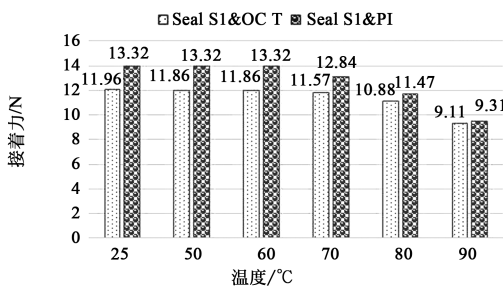


图 15 封框胶 S2 与 OC C2 和 PI 的常/高温接着力
Fig.15 Normal/high temperature adhesion of frame sealant S2 or OC C2 to PI

6 机理分析

6.1 封框胶材料分析

HTO 气泡不良的发生主要因素是封框胶 S1 与 OC C2 在高温下接着力大幅下降导致，其原因是：(1)封框胶的主要成分为环氧树脂和亚克力树脂，当温度接近于或高于聚合物玻璃态转变温度 (T_g) 时，可提高个别分子基团或大分子结构的重排率，使得封框胶的粘附力与分子粘接能力之间的差异程度减小，使得封框胶的粘附力减弱^[10]。(2)李因文等人的研究表明^[11]，温度升高时，高分子材料有从玻璃态向高弹态转变的过程，当温度较低时，封框胶中树脂分子主链对侧链的束缚力可能使支链在平衡位置附近振动；当温度超过 T_g 时，封框胶中树脂分子侧链运动加剧，分子主链对侧链的束缚力不足以使支链在平衡位置附近振动，从而表现出高弹或粘流特性，使得封框胶的粘附力急剧降低。封框胶 S1 和 S2 的 T_g 点分别为 40~50℃、60~70℃，HTO 信赖性测试时的环境温度为 60℃，在背光点灯照射下，显示器周边

温度可达 70 ℃ 左右,因此封框胶 S1 相比于 S2 其高温下的接着力下降幅度更多,导致接着力不足需求,造成 HTO 气泡的产生。

6.2 接着界面分析

封框胶与配向膜 PI 间的接着力优于与封框胶与 OC。由 Young 方程:

$$\gamma_S - \gamma_{SL} = \gamma_L \cos \theta \quad (1)$$

其中: γ_S 为固体表面能, γ_{SL} 为固-液间表面能, γ_L 为液体表面能。张越的研究中表明^[12],粘附功:

$$W = \gamma_S + \gamma_L - \gamma_{SL} \quad (2)$$

结合公式(1)、(2)得公式(3):

$$W = \gamma_L (1 + \cos \theta) \quad (3)$$

所使用的 OC 的水接触角为 70°~90°,PI 膜的接触角为 60°~70°^[13],代入上述公式(3)中,可得出 PI 膜的粘附功大于 OC, $W_{PI} > W_{OC}$,表明封框胶与 PI 的接着力优于封框胶与 OC。

7 结 论

通过封框胶材料变更和接着界面优化测试对比,进一步明确封框胶 S1 与 OC 的常/高温接着力较差是产生液晶气泡的主要原因。高温下封框胶 S1 与 OC 的接着力大幅下降,同时在 HTO 高温点灯下,液晶盒有一定的变形,使其局部受到应力作用,加剧了高温液晶气泡的发生。在材料上,可以通过变更封框胶种类,选用 T_g 点相对较高的封框胶来改善此不良;在工艺上,可采用 PI(配向膜)全涂方式,使 PI 与封框胶直接接触的方式来改善此类不良,避免产生高温液晶气泡。因此,后续封框胶选型评估时,其常/高温接着力和 T_g 点可作为重要参考指标,降低高温信赖性测试时出现液晶气泡风险。

参 考 文 献:

- [1] 廖燕平,宋勇志,邵喜斌,等.薄膜晶体管液晶显示器显示原理与设计[M].北京:电子工业出版社,2016.
LIAO Y P, SONG Y Z, SHAO X B, et al. *Thin Film Transistor Liquid Crystal Display* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2016. (in Chinese)
- [2] 谢克成.TFT LCD 液晶气泡产生机理与改善研究[D].广州:华南理工大学,2019.
XIE K C. A study on the mechanism and improvement of liquid crystal bubbles in TFT LCD [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019. (in Chinese)
- [3] 郝延顺,庞鲁,魏永辉,等.TFT-LCD 制程中 Bubble 的分析与改善研究[J].电子技术与软件工程,2015(11):138.
HAO Y S, PANG L, WEI Y H, et al. Analysis and improvement of Bubble in TFT-LCD process [J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2015(11): 138. (in Chinese)
- [4] 赵德友,刘亮,于翔,等.ODF 工艺中边框胶穿刺的影响因素研究[J].现代显示,2012(7):18-21.
ZHAO D Y, LIU L, YU X, et al. Study on the influence factors of sealant collapse in ODF process [J]. *Advanced Display*, 2012(7): 18-21. (in Chinese)
- [5] 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)
- [6] 邓明锋.LCD Bubble Issue 分析与改善研究[D].广州:华南理工大学,2017.
DENG M F. Analysis and improvement of LCD bubble issue [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017. (in Chinese)
- [7] 王欢,于翔,朱凤雅,等.TFT-LCD 的 Line Zara 失效机制及改善[J].液晶与显示,2019,34(6):549-555.
WANG H, YU X, ZHU F Z, et al. Failure mechanism and improvement of TFT-LCD Line Zara defect [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2019, 34(6): 549-555. (in Chinese)
- [8] 王超,徐习亮,姚之晓,等.TN 型液晶面板气泡不良分析研究与改善[J].液晶与显示,2019,34(7):634-639.
WANG C, XU X L, YAO Z X, et al. Analysis and improvement of bubble defect in TN mode liquid crystal panel [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2019, 34(7): 634-639. (in Chinese)
- [9] 王大巍,王刚,李俊峰,等.薄膜晶体管液晶显示器件的制造、测试与技术发展[M].北京:机械工业出版社,2007.
WANG D W, WANG G, LI J F, et al. *Manufacturing, Testing and Technology Development of Thin Film*

- Transistor Liquid Crystal Display Devices* [M]. Beijing: China Machine Press, 2007. (in Chinese)
- [10] 姚康德, 刘静. 高性能环氧树脂的进展[J]. 热固性树脂, 1992(3): 52-57.
YAO K D, LIU J. Development of high-performance epoxy resins [J]. *Thermosetting Resin*, 1992(3): 52-57. (in Chinese)
- [11] 李因文, 徐守芳, 马登学. 以玻璃化转变温度(T_g)串联的高分子物理教学探究[J]. 高分子通报, 2020(9): 74-78.
LI Y W, XU S F, MA D X. Study of the glass transition temperature (T_g) as the series connection in polymer physics teaching [J]. *Chinese Polymer Bulletin*, 2020(9): 74-78. (in Chinese)
- [12] 张越. 沥青与集料界面粘附性研究[D]. 西安: 长安大学, 2014.
ZHANG Y. Study on adhesion of interface between asphalt and aggregate [D]. Xi'an: Chang'an University, 2014. (in Chinese)
- [13] 李晓锦, 陈强, 郑伟, 等. 一种新型 TFT-LCD 用配向膜材料研究[J]. 液晶与显示, 2018, 33(10): 864-869.
LI X J, CHEN Q, ZHENG W, *et al.* New alignment material for TFT-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(10): 864-869. (in Chinese)

作者简介:



刘翔(1991—),男,湖北黄石人,硕士,2018年于武汉理工大学获得硕士学位,主要从事液晶显示面板方面的研究。E-mail: 10158784@boe.com.cn