

文章编号:1007-2780(2018)07-0568-07

TFT-LCD 黑 Gap 分析及改善研究

熊 奇*, 毕 芳, 王耀杰, 钟 野, 罗 春, 张志聪, 王云志

(重庆京东方光电科技有限公司, 重庆 400714)

摘要:黑 Gap 是大尺寸 TFT-LCD 产品常见的一种不良,它直接影响产品品质,降低产品竞争力。本文分析了黑 Gap 的发生原因及机理,指出面板放在卡夹中受到与卡夹接触点较强外力挤压后发生形变,柱状隔垫物受损,不能及时恢复导致黑 Gap 的发生。实验表明管控面板在卡夹中的存放时间,限制面板进行加热或降低加热温度,减少加热时间;增加面板与卡夹接触面积,减小面板与卡夹的接触角;增加柱状隔垫物与面板接触密度及辅助柱状隔垫物顶面柱径大小均可有效改善黑 Gap。通过导入以上措施,使得黑 Gap 发生率由改善前的 8.58% 降低至 0.1%,大大提高了产品品质。

关键词:黑 Gap;卡夹;接触面积;柱状隔垫物

中图分类号:TN141.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20183307.0568

Research and improvement of TFT-LCD black gap

XIONG Qi*, BI Fang, WANG Yao-jie, ZHONG Ye, LUO Chun,

ZHANG Zhi-cong, WANG Yun-zhi

(Chongqing BOE Optoelectronics Technology CO., LTD, Chongqing 400714, China)

Abstract: Black Gap is a common defect in the production of large size TFT-LCD (Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display). It directly deteriorates the quality of products and reduces the competition of products. The study shows that panel is extruded deformation by long time external force in cassette and the post spacer in cell is damaged and can't restore in time to result in black gap. To solve this issue, we can control the time of the panel in the cassette, confine oven process or reduce temperature and time properly, increase the contact area and decrease the contact angle between the cassette and panel, increase the contact density between post spacer and panel, and increase sub post spacer top CD respectively. All those actions decrease the black gap ratio from 8.58% to 0.1%, the quality of products has been greatly improved.

Key words: black Gap; cassette; contact area; post spacer

1 引言

随着消费者对大尺寸、高清晰度电视的青

睐,市场主流电视尺寸已逐渐从 32 in 向 45 in 以上发展^[1],电视的平均尺寸越做越大,作为电视主要组成部分的液晶面板也越来越大。由于面板尺寸大,质量也相应增加,面板放在卡夹

收稿日期:2018-02-26;修订日期:2018-04-23.

* 通信联系人, E-mail: xiongqi@boe.com.cn

(装载液晶面板的设备)中需要承受的重量也相应增大。在生产中为改善 TFT-LCD(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display)制程中的 Corner Bubble(1mm 左右)、Mura 类、Zara Domain(配向相关)等不良,需要把面板放在卡夹中在一定的温度和时间下进行加热处理,以便消除或减轻不良的影响,提升产品品质,但加热后发现在固定位置出现黑 Gap 不良,反而降低了产品品质。同时发现未进行加热的产品由于生产工序多、生产周期长,面板放在卡夹中存放时间太长(一般大于 3 d 左右),也会出现黑 Gap 不良。

造成液晶面板产生黑 Gap 的原因较多^[2-3],本文结合生产实际,主要探讨了大尺寸液晶面板放在卡夹中产生黑 Gap 的机理,结合发生机理,通过在生产过程中管控面板在卡夹中的存放时间,限制面板进行加热或降低加热温度,减少加热时间;改变卡夹与面板的接触方式和面板内部柱状隔垫物设计使得黑 Gap 发生率大大降低,有效地提高了产品品质。

2 黑 Gap 不良原因分析及机理研究

2.1 不良现象确认

液晶面板制成 OC 后在模组点灯,出现了固定点的黑 Gap,发生率 8.58%。不良在面板四角现象较重,距 DPO 侧 9.5 cm 左右,距 GPR 侧 8 cm 左右,GPL 侧 4.5 cm 左右,其他位置现象较轻。不良在灰阶(L63、L127)下发蓝,单色如红色/绿色画面下发黑,不良现象如图 1。

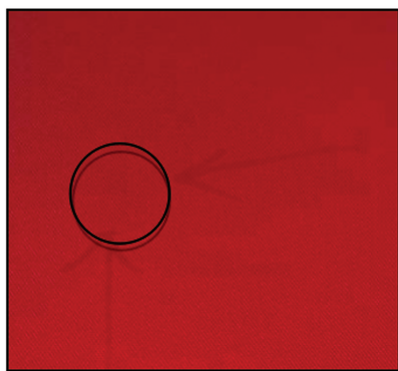


图 1 黑 Gap 点灯现象

Fig.1 Phenomenon of black gap

2.2 不良原因分析

通过盒厚测试仪分别测试不良区域和正常区域液晶面板盒厚,沿 X 轴和 Y 轴方向经过不良区域进行测试,测试位置示意图及测试结果见图 2 和图 3。结果表明不良区域盒厚均值较正常区域偏低 0.08 μm ,由于产品是 ADS 常黑显示模式,当盒厚减小时,此区域显示发暗,与不良现象吻合。

对液晶面板而言,引起液晶盒厚变化的因素大致有液晶量、面板周边硅球大小、柱状隔垫物高度等因素^[4]。液晶量的多少是决定液晶屏盒厚的主要因素,液晶量多时,盒厚整体偏大,反之,盒厚整体偏小^[5];而黑 Gap 仅仅在不良区域液晶盒厚偏小,中心区域无明显差异,因此排除液晶量对不良的影响。

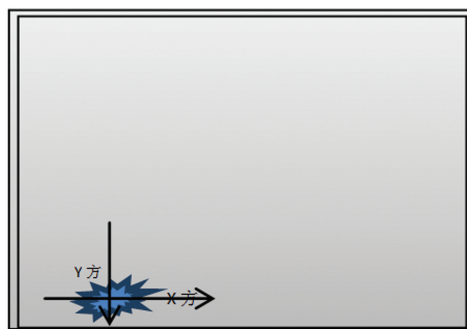


图 2 盒厚测试位置示意图

Fig.2 Test area of Cell Gap

液晶面板周边硅球粒径大小对周边盒厚影响较大,硅球粒径增大时,周边盒厚偏高,而硅球粒径减小时,周边盒厚偏小。黑 Gap 不良距离面板周边较远(至少 4.5 cm),故硅球粒径大小也不是黑 Gap 形成的原因。

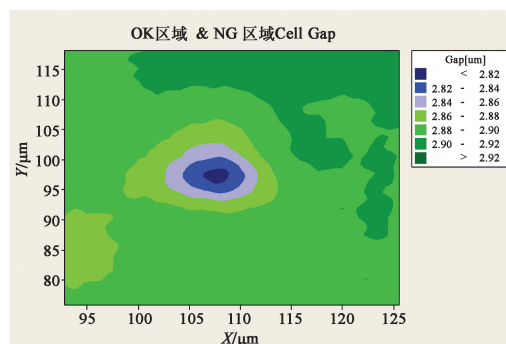


图 3 液晶面板盒厚测试结果

Fig.3 Result of cell gap

柱状隔垫物广泛用于液晶面板的制造中,是液晶面板的重要辅助材料,它在很大程度上控制调节液晶面板的盒厚,进而左右面板的显示品质^[6-8]。柱状隔垫物材料的压缩率、弹性回复率等是控制液晶盒厚的关键因素,当面板受到外力挤压时,隔垫物被压缩,在弹性恢复限度内若外力撤销,则会恢复初始状态,柱状隔垫物高度等未受影响;若外力较大且持续时间较长,超出回复限度,则会受到损伤,柱状隔垫物高度会受到影响,进而影响液晶盒厚,造成不良。通过 3D 成像显微镜分别观测正常区域和异常区域柱状隔垫物顶部形貌并测试柱状隔垫物的高度。结果表明不良区域柱状隔垫物顶部受损,顶部被 TFT 基板的 Pillow (金属小块)顶出了凹痕,具体形貌如图 4,而正常区域则没有受到损伤,如图 5。

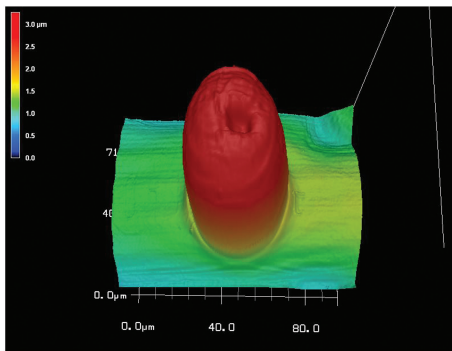


图 4 不良区域柱状隔垫物 3D 成像显微镜

Fig.4 3D&Profile measurement of PS in defect area

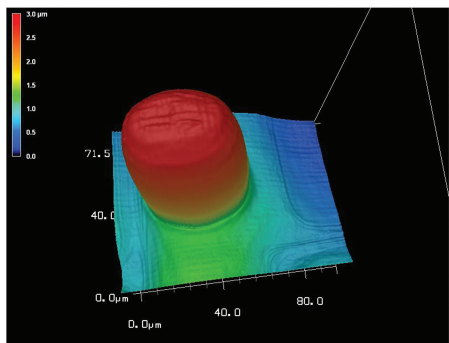


图 5 正常区域柱状隔垫物 3D 成像显微镜

Fig.5 3D&Profile measurement of PS in normal area

通过测试正常和异常区域柱状隔垫物高度,发现异常区域隔垫物高度比正常区域低 $0.071 \mu\text{m}$,推测不良是由于面板受到挤压,柱状隔垫物

表 1 正常区域和异常区域面板柱状隔垫物高度

Tab.1 OK panel 和 NG panel PS height

Item(μm)	1	2	3	4	5	Ave
NG panel	2.337	2.348	2.356	2.342	2.351	2.347
OK Panel	2.412	2.411	2.428	2.416	2.424	2.418

受损导致。

同时数据履历分析发现黑 Gap 有明显的卡夹集中性,在加热改善 Corner Bubble (温度 120°C , 时间 2 h) 的卡夹中不良发生率高达 10% 以上,而未进行加热的卡夹中发生率约在 1.4% 左右,通过对不良点位进行对比,发现不良点位与卡夹和面板接触点位位置完全匹配,因此得出黑 Gap 是由于受到面板与卡夹接触位置挤压导致。图 6 为面板放在卡夹中示意图,不良与卡夹和面板的接触位置吻合。

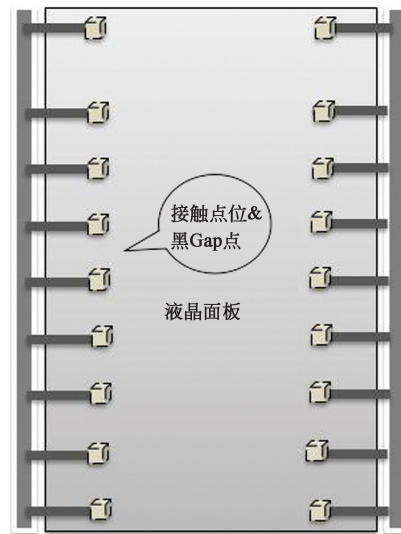


图 6 面板放在卡夹中示意图

Fig.6 Schematic diagram of panel in the cassette

2.3 黑 Gap 产生机理分析

面板尺寸越大,相应的质量也越大;玻璃基板厚度越薄(如 0.5 mm),放在卡夹中越易发生形变,面板向中间凹陷,边缘翘起。图 7 为面板单个支撑点受力示意图,假设液晶面板与卡夹支撑杆夹角设为 θ ,面板受到重力为 Mg ,支撑点对面板的支持力 F_N ,沿水平方向(X 轴)和竖直方向(Y 轴)对 F_N 进行分解。根据力学平衡原理,竖直方向上受力平衡,可得到:

$$F_N = \frac{Mg}{\cos\theta} \quad (1)$$

根据牛顿第三定律,力的作用是相互的,卡夹支撑点对面板的支持力和面板对卡夹支撑点的压力相等。设面板对卡夹支撑点的压力为 F_y , 可得到:

$$F_y = F_N \quad (2)$$

为进一步分析面板支撑点与卡夹之间压强变化,假设压强为 P , 面板与卡夹之间接触面积为 S , 可得到:

$$P = \frac{F_y}{S} \quad (3)$$

由公式(1)、(2)、(3)可得到:

$$P = \frac{Mg}{(S * \cos\theta)} \quad (4)$$

由式(4)分析可知,压强 P 与面板重力 Mg 和 θ 成正比,与接触面积 S 成反比。压强越大,面板单位面积受到的挤压力越大,越易发生不良。

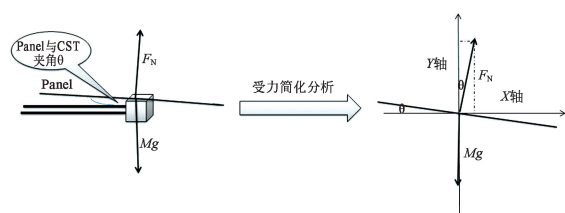


图7 面板放在卡夹中受力示意图

Fig.7 Force schematic diagram of panel in the cassette

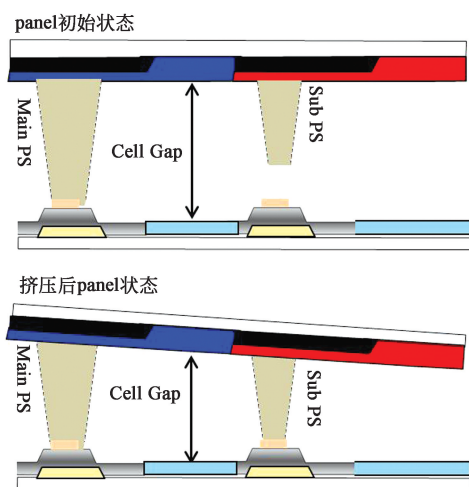


图8 面板受力前后形变示意图

Fig.8 Deformation schematic diagram of panel under stress

根据上述分析可知,面板放在卡夹中,中间凹陷,边缘翘起,接触角 θ 增大,同时面板与卡夹接触面积 S 减小,压强 P 增大,盒内柱状隔垫物压缩较大,不易恢复。同时温度升高后,面板与卡夹接触位置与其他区域受热膨胀程度不同,若卡夹接触点长时间顶在面板处会导致盒内柱状隔垫物受损,受压区域液晶盒厚变小,因而出现黑 gap。图8是面板挤压前后形变示意图。

3 改善措施及效果

从上述分析得知,黑 Gap 产生的主要原因是液晶面板放在卡夹中发生形变,受到外力挤压,盒内柱状隔垫物受损,不能及时恢复导致。因此降低面板受到的压强,减少卡夹支撑点对面板的持续作用时间、增强盒内柱状隔垫物的支撑强度是改善的总体方向。为此本文主要探讨加热时间 & 温度、卡夹设计、改变面板内部柱状隔垫物设计对黑 Gap 的影响。

3.1 不同温度和时间对黑 Gap 的影响

在液晶面板制程中,以改善 Corner Bubble (在一定的温度和时间下加热液晶面板)为例,分别探讨不同温度和时间对黑 Gap 的影响,结果见表2。

表2 不同温度和时间对黑 gap 的影响

Tab.2 Influence of different temperature and time on black gap

温度/℃	时间/min	黑 Gap 发生率/%	Corner Bubble 不良是否消失
120	5	1.0	未消失
120	10	3.0	消失
120	15	4.0	消失
120	20	7.0	消失
120	30	15.0	消失
80	10	3.0	消失
80	20	5.0	消失

从表中可以看出,升高温度、延长时间均使得黑 Gap 发生率升高。温度升高,推测一方面由于面板受热发生微小形变,使得面板与卡夹的接触角 θ 增大,另一方面,液晶面板与卡夹接触位置处由于受到挤压,受热膨胀程度与其他区域不一样,

受热不均匀也会促使黑 Gap 的产生。而加热时间延长,面板与卡夹接触时间增加,长时间挤压作用使得盒内柱状隔垫物形变不能及时恢复,所以黑 Gap 发生率增加。

但总体来说进行加热后黑 Gap 的发生率仍然有 1% 以上,因此除了 NG 等级的面板经过加热改善不良外(NG 等级的面板加热后可提成 Q 级),其他等级(NG 以外的)的面板禁止进行加热,以此来避免黑 Gap 的高发。

3.2 面板放在卡夹中存放时间的影响

在实际生产中,切割整张玻璃后会把面板放在卡夹中运送至下一工序,直到投入到模组,一般大尺寸未进行打包,易破损。在这过程中我们发现未进行加热的面板,切割后放在卡夹中的时间越长,黑 Gap 发生比例越高,面板在卡夹中存放时间与黑 Gap 发生率的关系见图 9。

从图中看出,面板放在卡夹中的时间在 3 d 以内发生率相对较低,发生率 0.3% 左右,而超过 3 d 后发生率大大提高,甚至达到 2% 左右。因此在实际生产中控制面板在卡夹中的存放时间就显得十分重要。一般应按照先进先出的原则进行管控卡夹周转,合理安排产品生产时间,确保面板在卡夹中的存放时间小于 3 d,这样可以避免黑 Gap 高发,降低品质损失。

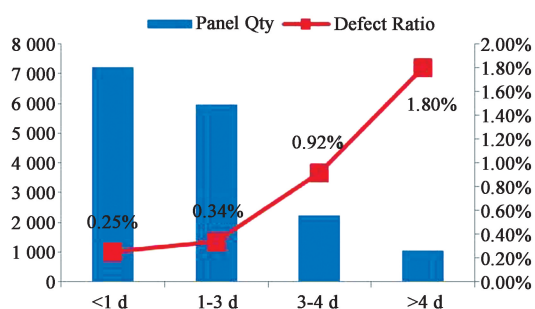


图 9 面板放在卡夹中存放时间对黑 gap 发生率的影响

Fig.9 Influence of panel in the cassette on black gap ratio

3.3 改变卡夹结构对黑 Gap 的影响

由黑 Gap 产生的机理可知,面板放在卡夹中的作用效果与接触面积 S 和 Panel 与卡夹支撑杆之间的夹角大小 θ 有关,因此在未加热及管控面板在卡夹中存放时间基础上,从改变卡夹结构上探讨对黑 Gap 的影响。具体更改的卡夹结构

如下:

(1)增加面板与卡夹支撑点接触面积,新的卡夹命名为卡夹 A,卡夹变更示意图如图 10。



图 10 接触面积变更示意图

Fig.10 Schematic diagram of contact area

(2)在卡夹中部添加一条支撑杆,防止面板向中间凹陷,更改后的卡夹命名为卡夹 B;

(3)在分析不良时发现黑 Gap 高发的卡夹中面板与卡夹接触位置凸起,只接触一条棱或一个角,实际的接触面积很小。因此改变面板与卡夹接触点方式,由可动方形改为固定式圆柱形,可防止手动抽屏时接触点转动,能确保接触面积,同时接触点位置距离卡夹支撑杆的垂直距离变小($h_2 < h_1$),改后的卡夹命名为卡夹 C,卡夹接触点变更示意图如图 11。

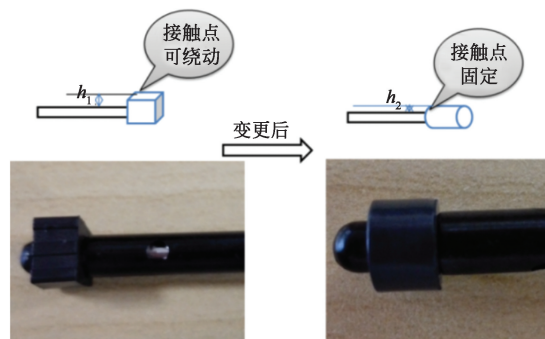


图 11 接触点变更示意图

Fig.11 Schematic diagram of contact point

从图 12 中可以看出,相对于原卡夹,更改后的卡夹黑 Gap 发生率均有降低。对改善效果而言,卡夹 B 最好,卡夹 C 和卡夹 A 次之。对卡夹 A,接触面积 S 增加可降低面板与卡夹接触点之间的压强;对于卡夹 B,通过在卡夹中部添加一条支撑 Bar,在一定程度上能减轻 Panel 形变,减小 Panel 与卡夹支撑杆之间的夹角 θ ,同时卡夹支撑点处受到的压力减小,大大降低了面板与卡夹接触点之间的压强,改善效果最好,但在实际生产中卡夹改造难度较大,改造周期长;对于卡夹 C,接

触点由可绕动方式变更为固定方式,可避免接触位置转动凸起,确保接触面积及面板与卡夹之间的夹角。防止接触点发生转动,接触位置凸起导致接触面积减小,同时接触点位置距离卡夹支撑杆的垂直距离减小($h_2 < h_1$),面板与卡夹之间的夹角 θ 减小,也会降低面板与卡夹接触点之间的压强。结合生产实际最终选取发生率相对较低的卡夹 C 为量产卡夹。

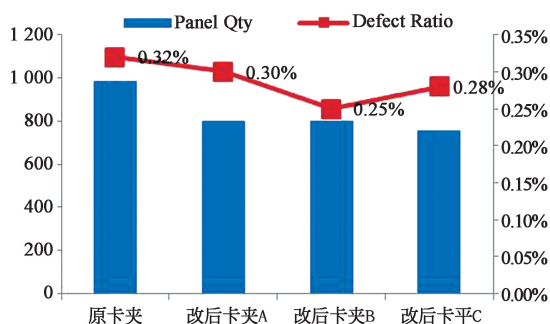


图 12 不同卡夹设计对黑 Gap 的影响

Fig.12 Influence of different cassette on black gap ratio

3.4 改变面板内部柱状隔垫物设计对黑 Gap 的影响

由上述验证得出限制面板进行加热、管控面

板在卡夹中的存放时间及改变卡夹结构在一定程度上能降低黑 Gap 的发生率,但并不能从根本上防止黑 Gap 的发生,在此基础上我们探讨改变面板内部柱状隔垫物设计对黑 Gap 的发生率的影响。在确保满足液晶面板光学特性的前提下,通过增加柱状隔垫物的密度和辅助柱状隔垫物的顶面柱径大小,使得液晶盒内柱状隔垫物的支撑作用大大增加。变更前面板在按压测试时,柱状隔垫物支撑力不足,压力撤销后在按压处出现一团发黑不良,变更后在相同的条件下测试,按压处未见发黑现象。同时我们也测试了隔垫物柱径变更前后的弹性回复率。测试方法为模拟隔垫物在受压时的状态,加压终值 50 mN,加压时间 36 s,发生的最大形变记为 $h_{\max}$,撤消压力后隔垫物弹性恢复后的形变记为 h_p ,通过式(5)则可得到隔垫物的弹性回复率。

$$\text{PS Recovery Ratio} = \frac{h_{\max} - h_p}{h_{\max}} \quad (5)$$

不同柱径柱状隔垫物弹性回复率如表 3 所示,从表中可看出,增加柱状隔垫物的柱径后弹性回复率有较大差异,柱径增加后,弹性回复率也增加^[9]。

表 3 不同柱径柱状隔垫物弹性回复率对比

Tab.3 Comparison of recovery ratio of PS with different Top CD

柱状隔垫物柱径增加后				柱状隔垫物柱径增加前			
No.	$h_{\max}/\mu\text{m}$	$h_p/\mu\text{m}$	弹性回复率/%	No.	$h_{\max}/\mu\text{m}$	$h_p/\mu\text{m}$	弹性回复率/%
1	0.424	0.101	76.18	1	0.416	0.146	64.90
2	0.371	0.091	75.47	2	0.377	0.137	63.61
3	0.497	0.116	76.66	3	0.372	0.131	64.82
4	0.414	0.089	78.50	4	0.376	0.136	63.71
Ave	0.426	0.099	76.70	Ave	0.385	0.137	64.26

对比柱状隔垫物变更前后两种产品在量产中的黑 Gap 发生率如图 13。由图中可知,柱状隔垫物变更后黑 Gap 的发生率降至 0.1% 左右。这是由于柱状隔垫物的密度越大,面板的支撑能力越强;柱状隔垫物的柱径越大,弹性回复率越高,在相同的外界条件下,能有效抵消面板受外力挤压而产生的形变,从而避免黑 Gap 的发生。

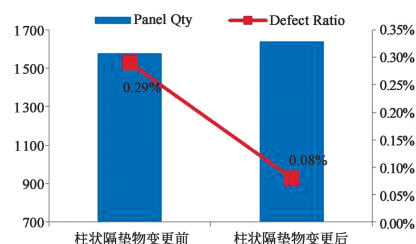


图 13 不同柱状隔垫物设计对黑 Gap 发生率的影响

Fig.13 Influence of different PS on black gap ratio

4 结 论

黑 Gap 通常是大尺寸液晶面板放在卡夹中长时间受到外力挤压,盒内柱状隔垫物受损,不能及时恢复导致。本文通过管控生产过程中液晶面板在卡夹

中的存放时间,限制面板进行加热或降低加热温度,减少加热时间;改变卡夹与面板接触点位,减小面板与卡夹的接触角;增加柱状隔垫物与面板接触密度及柱状隔垫物柱径大小均可有效改善黑 Gap。通过导入以上措施,使得黑 Gap 发生率改善前的 8.58% 降低至 0.1% 左右,大大提高了产品品质。

参 考 文 献:

- [1] 杨迎春.液晶显示器应开拓大尺寸市场[J].现代显示,2011,22(7):29-31,45.
YANG Y C. Design large size LCD panel for developing market prospects [J]. *Advanced Display*, 2011, 22(7): 29-31, 45. (in Chinese)
- [2] 张明亮,黎海波,丁甲,等.TFT-LCD 工艺中 Gap 性不良的分析与改善[J].电子世界,2017(19):64-66.
ZHANG M L, LI H B, DING J, *et al.* Analysis and improvement of gap defect in TFT-LCD process [J]. *Electronics World*, 2017(19): 64-66. (in Chinese)
- [3] 封宾,林鸿涛,王章涛,等.液晶面板 Black-Gap 不良的分析研究[C]//2012 年中国平板显示会议论文集.深圳:中国物理学会,中国光学光电子行业协会,2012:247-250.
FENG B, LIN H T, WANG Z T, *et al.* Analysis and research of TFT-LCD black-gap [C]//*Proceedings of 2012 China Display Conference*. Shenzhen: Chinese Physics Society, China Optical Optoelectronic Industry Association, 2012: 247-250. (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] 张晶思.在液晶滴下工艺中保持盒厚均一性的研究[D].上海:上海交通大学,2009.
ZHANG J S. Disquisition of how to make cell gap unfirm in ODF Process [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2009. (in Chinese)
- [6] 顾俊,常翔宇,许军.利用光刻胶支柱控制柔性液晶盒厚的方法[J].复旦学报:自然科学版,2012,51(6):746-750.
GU J, CHANG X Y, XU J. Cell gap controlling of the flexible LCD cell using photoresist materials [J]. *Journal of Fudan University (Natural Science)*, 2012, 51(6): 746-750. (in Chinese)
- [7] CHEN S H, KOO H S, CHEN W Y, *et al.* Advanced photo spacer technology for large-sized TFT-LCD [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2005, 36(1): 539-541.
- [8] 陈彩琴.基于 HTM 技术的 PS 优化设计研究[D].广东:华南理工大学,2017.
CHEN C Q. Optimization design of photo spacer based on HTM technology [D]. Guangdong: South China University of Technology, 2017. (in Chinese)
- [9] 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:熊奇(1987—),男,湖北十堰人,硕士研究生,主要从事液晶显示面板产品良率提升、不良解析及改善等方面研究。E-mail: xiongqi@boe.com.cn