

文章编号:1007-2780(2019)10-0982-10

窄长型车载液晶显示屏黑画面漏光研究及改善

毛 蕾*, 张正元, 范荣华, 娄衍礼, 訾 培, 杨 溢, 张世德, 任 干, 李春丽, 王勋南
(合肥鑫晟光电科技有限公司, 安徽 合肥 230012)

摘要:黑画面的漏光是高级超维场开关显示模式(Advanced-Super Dimensional Switching, ADS) TFT-LCD 中常见的一种不良, 当液晶面板有形变或应力作用即容易发生漏光不良, 窄长型 ADS 车载产品更容易受力形变。本文探讨漏光发生的机理并进行改善。研究发现, 面板由于形变, 内应力, 液晶偏转发生异常, 最终导致黑画面的漏光。本文以 312.4 mm(12.3 in) 寸窄长型车载 ADS 产品为例, 首先对平坦度进行分析: 从面板平坦度、背光源平坦度、背光源口子胶位置等方面分析。再从应力着手: 从模组将集成电路压接在玻璃基板上的工艺 (Chip on Glass, COG)、面板和背光源的组装精度进行漏光实验。实验结果表明, 在面板平坦度提升、背光源平坦度管控、背光源口子胶设计为半口子胶并由长边固定变更为短边固定, COG 绑定温度和压力进行实验设计、组装精度提升等方面改善后, 黑画面漏光可从 15% 降低至 0.1% 以内。

关键词: 车载液晶显示屏; 漏光; 平坦度; 背光源; 背光源口子胶

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20193410.0982

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

MAO Lei*, ZHANG Zheng-yuan, FAN Rong-hua, LOU Yan-li, ZI Pei, YANG Yi,
ZHANG Shi-de, REN-gan, LI Chun-li, WANG Xun-nan

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

Abstract: Black light leakage is a common in advanced-super dimensional switching(ADS) mode TFT-LCD product. It is easy to cause light leakage when the panel has deformation or internal stress, especially for narrow-length products. This article discussed the reason of light leakage and improve it. It is found that the panel deformation, internal stress, and liquid crystal deflection are abnormal, which can lead to light leakage. For example, this paper discusses 312.4 mm(12.3 in) ADS automotive product. At first, for flatness: we analyzed the panel flatness, backlight flatness and the location of backlight tape. Second, for internal stress: we analyzed COG (Chip on Glass) technology, assembly accuracy of panel and backlight. Light leakage experiments show that improvement of panel flatness, backlight flatness and assembly accuracy can reduce the level of leakage. Other factors, such as cutting the length of backlight tape and changing its position from long side to short side, controlling COG bonding temperature and pressure with DOE(Design of Experiment) are also

收稿日期:2019-05-14; 修订日期:2019-08-05.

* 通信联系人, E-mail: maolei@boe.com.cn

effective. All the above measures, light leakage can be reduced from 15% to less than 0.1%.

Key words: automotive LCD display; light leakage; flatness; backlight; backlight tape

1 引言

TFT 液晶显示器凭借高性能和低成本的优点,在汽车行业中广泛运用于车载的仪表和中控系统控制面板。车辆仪表盘属于安全件,主要用于显示行车的状态信息,如速度、转速、温度、油量指示灯、行车里程等信息;中控主要显示导航地图、电话列表、多媒体播放等。车载仪表和中控面板的系统画面底色一般为黑色,如果面板边角位置有黑画面漏光(区块显示发黄)会影响视觉效果,特别在黑夜开车,视觉差异更明显。

高级超维场开关显示模式(Advanced-Super Dimensional Switching, ADS)液晶模组具有广视角、高亮度以及高开口率等优点,但 ADS 模组受到外力的挤压作用时,容易产生黑画面漏光现象,影响客户使用视觉效果。黑画面的漏光,俗称 L0 漏光,是 TFT-LCD 行业 ADS 产品中极为常见的一种不良。针对窄长的车载 ADS 液晶产品,更易受力形变出现 L0 漏光不良。本文以 312.4 mm(12.3 in)寸车载产品为例研究窄长型 ADS 产品的漏光原理,从提升液晶面板的平坦度,优化背光源的口子胶设计,优化集成电路压接在玻璃基板上的工艺(Chip on Glass, COG)方面,提升面板和背光源的组装精度等达到改善 L0 漏光不良的目的^[1]。

2 L0 漏光介绍

L0 漏光是在黑画面边缘或角落出现发黄不良。如图 1 所示。面板本身的形变、内应力、背光



图 1 L0 漏光实物现象

Fig.1 L0 light leakage phenomenon

源的形变、柔性印刷线路板(Flexible Printed Circuit, FPC)的拉扯/挤压、COG 绑定的应力均会造成漏光不良。某客户的漏光标准为,在环境照度(100 ± 50)Lx 范围内,目视检测,通过 8% 滤光片(Neutral Density Filter, ND Filter)不可见漏光不良,即判定良品。

3 L0 漏光机理分析

液晶显示器显示原理:液晶分子在平行于玻璃基板的平面内,无电压时,光线经过下偏光片后形成平行于液晶分子短轴的直线偏光,偏光方向不能转动,因此被上偏光片吸收无法射出。施加电场液晶左右形成横向电场,液晶分子沿着电场方向排列,光线经过下偏光板和液晶层后呈椭圆偏光状态,可透过上偏光片射出^[2-3]。

3.1 玻璃的光弹效应

玻璃、塑料、环氧树脂等非晶体在通常情况下是各向同性而不产生双折射现象的,但当它们受到应力时,就会变成各向异性显示出双折射性质,这种现象称为光弹性效应^[4-5],受力方向即为光轴方向,如图 2 所示。

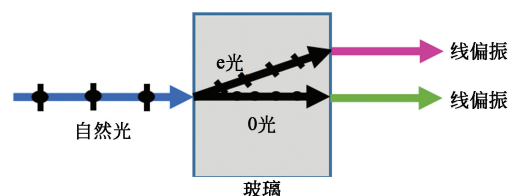


图 2 玻璃的光弹效应

Fig.2 Glass photo elasticity effect

3.2 面板形变产生漏光

当面板受外力形变时,彩膜(Color Filter, CF)基板,液晶层,TFT 玻璃基板均发生形变。当自然光经过下偏光片的线偏振光在 TFT 基板,液晶层,CF 基板发生双折射^[6]。双折射是指同一束入射光线经过 CF、液晶和 TFT 层折射分成两束的现象。两束折射光中其中一束光遵循折射定律称为 o 光,另一束不遵循折射定律,且折射特性随着折射角度的变化而变化,简称 e 光^[2]。自然光经过 TFT、液晶层射出 CF 基板时

表现为 4 对偏振方向相互垂直的线偏振光,这 4 对偏振光在穿出 CF 基板时,每对线偏光合成为 4 条椭圆偏振光且椭圆偏振光的波面平行于 XOY 平面,4 条椭圆偏振光经过偏光片后形成 4

条线偏振光,由于这 4 条线偏振光的振动方向平行,可合成为 1 条线偏振光,产生亮度。若因玻璃形变等原因,则会表现出漏光不良^[7-8],如图 3 所示。

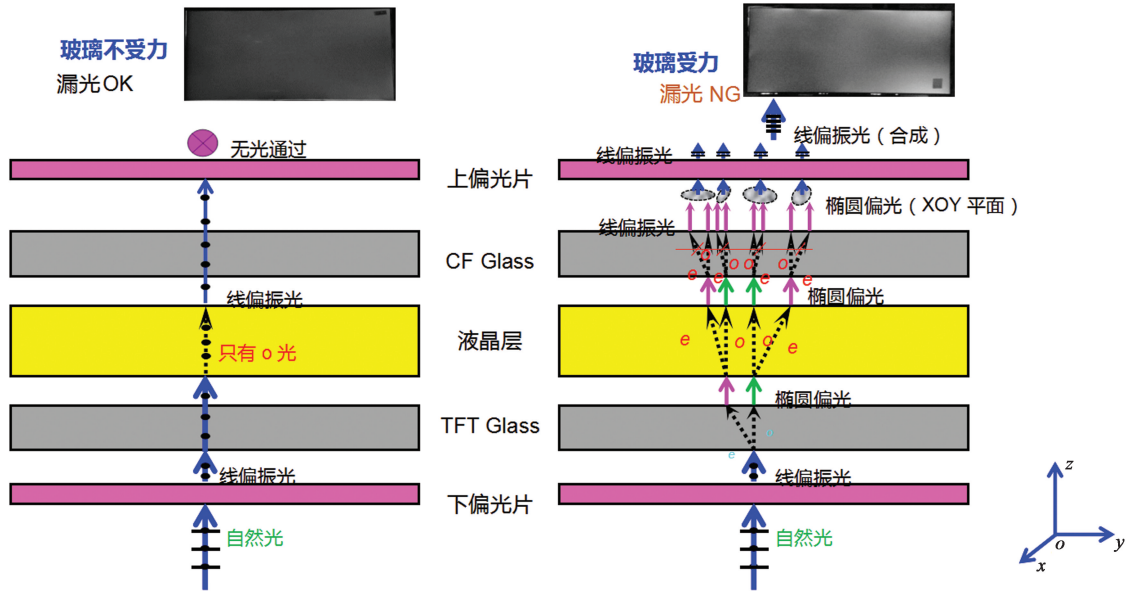


图 3 玻璃的双折射效应
Fig.3 Glass birefringence effect

4 L0 漏光改善

4.1 面板各阶段平坦度测试

重点分析切割前基板的平坦度(通过测量切割后面板平坦度并还原至大玻璃基板的平坦度)、贴偏光片后平坦度、组装上背光源后的平坦度。

4.1.1 面板平坦度

首先分析切割前基板的形变,在 CF 和 TFT 对合后,密封胶照射固化前,大基板由于运输途中设备支撑力不均,产生微形变^[2],如图 4 所示。

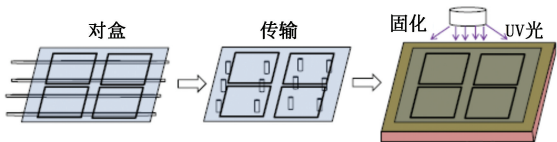


图 4 切割前基板对合流程图
Fig.4 Glass matching flow chat

密封胶在固化时,微形变处产生应力固化到切割后面板中,受到外力时切割后面板聚集应力处产生漏光。如图 5 所示。

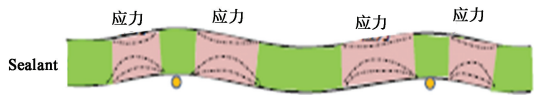


图 5 切割后面板形变示意图
Fig.5 Glass deformation diagram

为了验证对合前后基板翻转对其翘曲的影响(密封胶固化前翻转会产生应力),设计实验为 CF 和 TFT 玻璃对合前进行 TFT 翻转。现有模式为 CF 和 TFT 玻璃对合后翻转至 TFT 侧朝上,实验条件为 TFT 优先翻转再对合 CF 和 TFT 玻璃。以上 2 张玻璃基板产品经过 2 次切割后,使用 3D 测量仪,测量切割后面板的翘曲度,并使用 Minitab 绘制等值线图,将切割后小面板的翘曲度还原到大基板中,切割前大基板的翘曲方向及位置如图 6 所示。

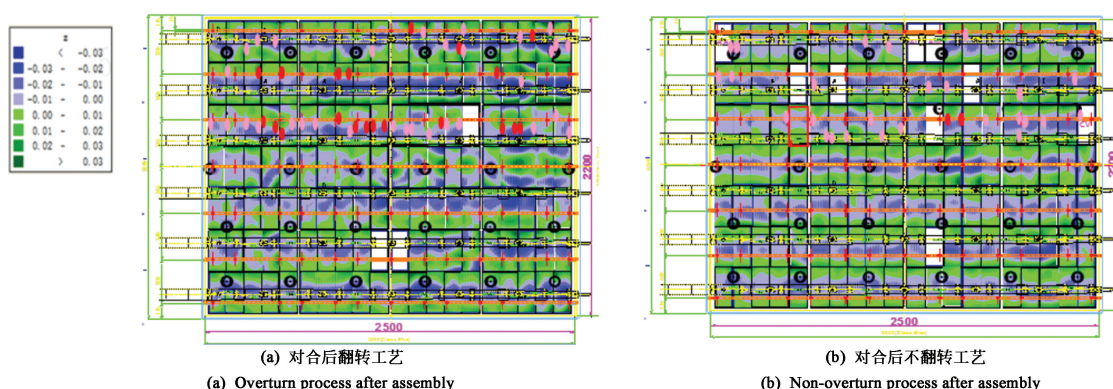


图 6 切割后面板的平坦度图

Fig.6 Flatness diagram of the panel after cutting

图中红色点表示漏光的位置深红色代表漏光 Level 2 ↑ (Level 是一种评判不良浓度的方法); 浅红色代表 Level 2 ↓; 整张玻璃基板的颜色深浅代表变形程度,颜色越深变形越严重,颜色越浅变形越轻。从 3D 测量仪可测量得:对合后不翻转工艺的面板平坦度(实验条件)优于翻转工艺(现

有条件)的平坦度 0.05 mm。

从以上图分析可得:对合后不翻转对玻璃基板形变量影响较小。

4.1.2 面板贴偏光片后的形变量

分别对 2 张面板贴偏光片确认,确认翘曲是否有变化(抽样测量),如图 7 所示。

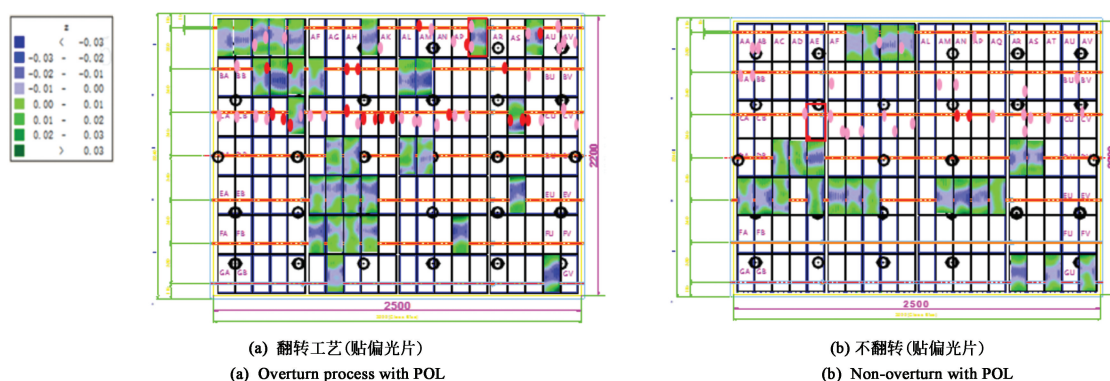


图 7 贴 POL 后面板状态的平坦度图

Fig.7 Flatness diagram of the panel state after POL is attached

3D 测量面板的平均翘曲度:贴偏光片状态时不翻转工艺的面板翘曲相对翻转工艺低 0.02 mm。图 7 分析得:贴偏光片后对面板翘曲有正向拉平作用。

4.1.3 面板组装背光源后模组形变

针对翻转工艺和不翻转工艺,分别对产品组装背光源(背光源胶带为半截胶设计,并贴附在背光源两侧短边),组装完成后测量面板表面的平坦

度(抽测面板的 A,B,C 3 行),平坦度测试如图 8 所示。

3D 测量模组的平均翘曲度:组装背光源后,不翻转与翻转工艺,模组的翘曲度基本接近,相差 0.04 mm。模组形变量相对单体面板形变量增加,且部分面板翘曲的形态发生变化(面板原为下凹状态,现部分面板出现扭曲),主要受组装背光源的影响。

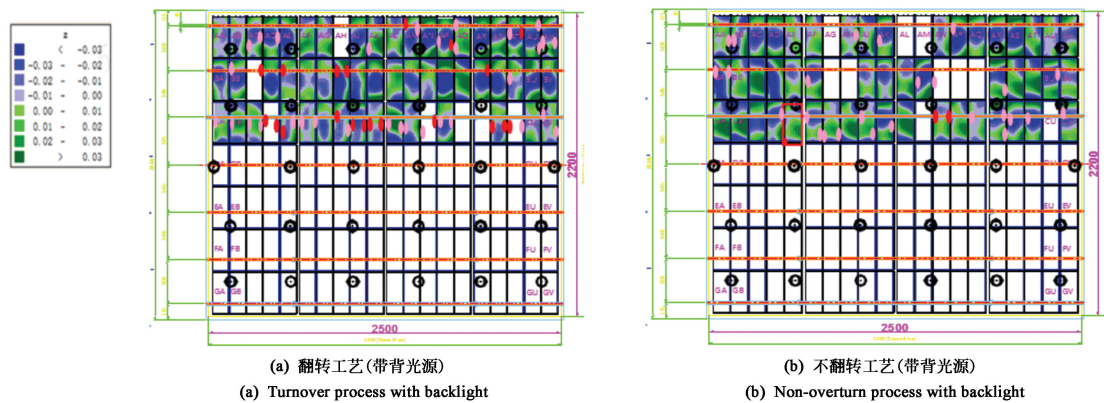


图 8 模组状态的平坦度图

Fig.8 Flatness map of module state

4.2 面板平坦度分析及改善

从以上平坦度测量可得,贴偏光片和组装背光源后,面板的平坦度均发生变化,分别对贴

偏光片和组装背光源后产品加信号点灯进行测试,观察产品 L0 漏光的平均漏光程度,如表 1 所示。

表 1 L0 漏光程度

Tab.1 The Level of L0 leakage

ITEM		L0 (无不良)	L0.5 (ND10 可遮)	L1 (ND8 可遮)	L2 (ND5 可遮)	≥L3 (ND5 不可遮)
贴偏光片后	翻转工艺	15.0%	85.0%	—	—	—
	不翻转工艺	82.0%	18.0%	—	—	—
组背光源后	翻转	—	31.5%	20.0%	25.7%	22.8%
	不翻转工艺	—	77.6%	19.6%	2.8%	—

从表 1 可得:(1) 不翻转工艺相对翻转工艺,L0 漏光现象更轻微。(2)组装背光源后,L0 漏光现象加重(详细分析见文章 4.4),不翻转工艺的漏光不良相对轻微。

4.3 COG 绑定漏光分析改善

COG 绑定工艺为模组工艺:集成电路(IC)

通过各向异性导电胶 (Anisotropic Conductive Film,ACF) 绑定在玻璃电极上。COG 绑定过程中,由于在高温下 IC 和玻璃均受热膨胀,当压头离开时,温度下降,热胀冷缩,IC 的收缩量大于玻璃的收缩量,导致玻璃发生翘曲^[10],详见表 2。

表 2 COG Bonding 工艺 L0 漏光分析

Tab.2 L0 light leakage analysis in COG bonding process

ITEM	Step1	Step2	Step3	Step4
步骤	Start	Curing	Tool Press Out	Completed
图示				

续 表

ITEM	Step1	Step2	Step3	Step4
温度	常温	高温	高温	常温
说明	待绑定	加热绑定, IC 和玻璃膨胀	压头离开, 温度下降	热胀冷缩,IC 收缩量大于 玻璃,导致玻璃翘曲
结论	为降低 IC 绑定位置面板的形变量,在不影响品质情况下,降低 COG 绑定温度。			

从表 2 可得:在不影响绑定品质的基础上,将压头温度、载台温度、刀头压力进行实验设计,以此减少玻璃的形变,降低 L0 漏光的程度。

4.4 背光源平坦度分析及改善

由于面板组装背光源后,3D 显微镜测量模组的翘曲度增加,点灯检测 L0 漏光的程度增加。

分析单体背光源的形变和组装过程对 L0 漏光影响,如图 9 所示。

4.4.1 背光源口子胶对 L0 漏光影响

进行背光源口子胶位置及全胶与半胶实验,当口子胶位于背光源长边,L0 漏光不良率为 15%。分析不良现象,漏光位置主要集中在长

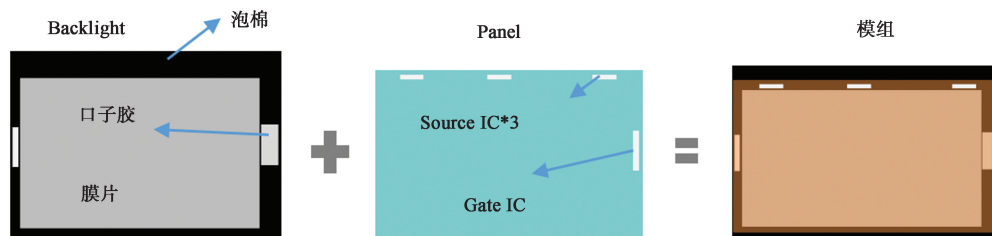


图 9 面板和背光源的组装过程

Fig.9 Panel and backlight assembly process

边位置,现设计实验,验证口子胶位置对模组翘曲度和 L0 漏光的影响。实验设计,共设计 7 组实验条件,将口子胶位置分别位于背光源长边、短边、全胶、半胶等。每次实验共做 3 次,每次

实验所用的面板和背光源均为同一块,不同实验条件之间的更换只更换泡棉和口子胶。以下数据均在未卡铁框状态下测量,实验结果如图 10 所示。

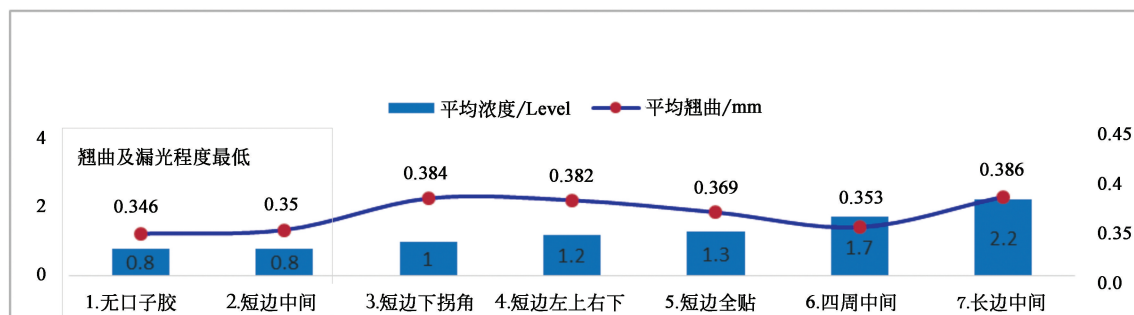


图 10 验证口子胶对漏光的影响

Fig.10 Influence of backlight tape on light leakage

从图 10 可得:实验 1:无口子胶;实验 2:半口子胶贴附在背光源短边中间位置,漏光和翘曲度最优;实验 3~5,半口子胶非对称贴附或短边全贴,

翘曲及漏光均较差;实验 6:四边均贴附半口子胶;实验 7:长边贴附口子胶,漏光及翘曲均较差。为更有效验证口子胶对漏光的影响,再次取 3 个实验

产品,半口子胶位于长边,无口子胶,半口子胶位于短边样品各 5 片,分别检测其漏光程度,明显可见

无口子胶和口子胶在短边漏光较轻微,如图 11 所示。

样品	口子胶在长边	无口子胶	口子胶在短边
1			
2			
3			
4			
5			

图 11 验证口子胶对漏光影响实物图
Fig.11 The Picture of light leakage

综上述实验可得:无口子胶/半口子胶优于全口子胶;口子胶贴附短边优于长边(注:由于无口子胶,面板无法完全固定,在背光源中会晃动并摩擦胶框,导致背光源异物不良,故不可取)。

4.4.2 验证背光源口子胶对 L0 漏光影响

将半口子胶从背光源长边变更为背光源短边,漏光从 15%降低至 3%;需要进一步分析背光源的影响。使用 3D 测量仪,测试背光源四周泡棉(与面板直接接触的位置)数据:测量 17 pcs 样品,背光源的平均翘曲 0.24%,测量其中 94% 呈现下凹状态,如图 12 所示。

对背光源形变的原因进行分析,根据图 12 的 3D 图示,将形变点分别标注为 a、b、c、d 4 个点。

其中 a、b 两个点形变主要取决于背光源胶框的形变,胶框的形变主要受卡合点(Hook)卡合力影响,对胶框和背板卡和状态分析结果见表 3。

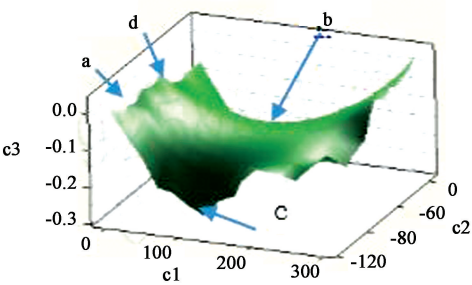


图 12 背光源的翘曲
Fig.12 Backlight warpage

表 3 胶框 Hook 卡合状态
Tab.3 State of frame and hook

样品	1	2	3	4	5	6	图示
上 Hook	1	√	√	×	×	×	1.“√”表示 Hook 咬合紧密;“×”表示未咬合 2.下图为胶框 Hook 卡合点,绿色根据测试数据表示卡合紧密;红色表示未卡合。 3.从以测试可得:长边中间位置卡和紧密,短边未卡,胶框处于下凹趋势
	2	√	√	×	×	×	
	3	×	×	×	×	×	
	4	×	×	×	×	×	
	5	×	×	×	×	×	
右 Hook	6	√	√	×	×	×	
	7	√	×	×	√	√	
	8	√	√	√	√	√	
下 Hook	9	√	√	√	√	√	
	10	√	√	√	√	√	
	11	√	×	√	√	×	
左 Hook	12	×	×	×	×	×	
	13	√	√	×	×	×	
	14	×	×	×	×	×	
	15	√	√	×	×	×	

c 点形变主要是由于 Hook 9 点和 10 点位置卡合紧密影响。d 点形变位置贴附口子胶,口子胶厚度 0.05 mm,故偏高。综上可得:背光源胶框呈现下凹状态,主要受背光源胶框的卡合决定。为了提升背光源平坦度需要对 Hook 卡合管控,

保证 Hook 均卡合良好,最终保证背光源平坦度控制在 0.3 mm 以内。

4.4.3 组装背光源后模组平坦度分析

面板组装上背光源成模组后,平均翘曲上升 2 倍,绘制等值线和 3D 图,对比如图 13 所示。

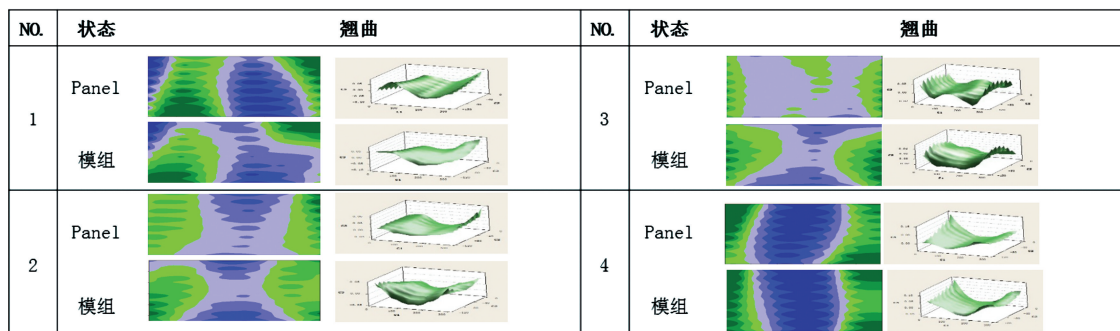


图 13 面板和模组的翘曲对比图

Fig.13 Contrast chart of panel and module

实际测量面板与铁框内部的间隙均 ≥ 0.2 mm,铁框对面板不施力,铁框和背光源卡合状

态,铁框给背板(背板直接影响胶框形变)的力,如表 4 所示。

表 4 铁框 Hook 卡和状态

Tab.4 The state of Bezel Hook

样品	1	2	3	4	5	6	图示
上	1	×	×	×	×	×	1.“√”表示 Hook 咬合紧密;“×”表示未咬合 2.下图为铁框和背板 Hook 点的卡合状态,绿色根据测试数据表示卡合紧密;红色表示未卡合。 3.实验可得:两端紧密,中间松动
	2	×	×	×	×	×	
	3	×	×	×	√	×	
	4	√	×	×	√	×	
右	5	√	×	√	√	×	
	6	×	√	√	√	√	
	7	√	√	×	√	×	
	8	×	×	×	×	×	
下	9	×	×	√	×	×	
	10	√	×	√	√	×	
	11	√	√	√	√	√	
	12	√	√	√	√	√	

综上所述:铁框和背板两侧短边卡合紧密,长边卡合松动,短边对模组整体形成挤压,导致模组形变。故从设计上铁框和背光源的 Hook 卡合,需要保证卡合程度一致(注:设计上 Hook 卡合松动,不仅导致背光源轻微变形,同样会导致产品摇晃异常响声)。

4.5 组装精度管控

4.5.1 FPC 反折精度

模组产品,柔性印刷电路板(Flexible Printed Circuit,FPC)一端连接面板,另一端连接电路板

PCB'A(Printed Circuit Board + Assembly),且 PCB'A 需要使用双面胶黏贴在背光源的背板上固定。做 2 个极端实验:在绑定完成不组装背光源状态点亮产品调至黑画面,用手轻拉和轻推 FPC,与 FPC 连接的面板处有明显漏光,故需严格对 FPC 反折精度管控,减少 FPC 的拉扯应力,同理,FPC 薄化设计可减少 FPC 的内应力。

4.5.2 面板和背光源组装精度

模组工艺,需要将面板和背光源进行对合,要求面板与背光源胶框的凸点无任何干涉,若对位

偏斜,面板与胶框凸点形成挤压,面板受到内应力,导致漏光,以下为某客户 312.4 mm(12.3 in)产品面板与胶框凸点设计,两侧间隙设计 ≤ 0.4 mm。如图 14 所示,面板与胶框凸点成 0 间隙,导致凸点固定点位的漏光。

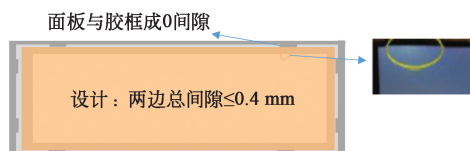


图 14 固定位置漏光

Fig.14 Light leakage of fixed position

面板和背光源对合分为两种,人员手动对合和设备自动对合。首先分析人员手动对合:对合时以长边为基准对合优于以短边对合。对合手法,以背光源一端为起点对合,对合的轨迹实际为弧线 L ,对合的形状为扇形。扇形的弧长 L 越长,对合过程中越容易偏移导致不良。

弧长公式: $L = n\pi R/180^{[10]}$ 。其中: L 是弧长, n 是扇形圆心角, R 是扇形径。综上可得:以长边为起点对合时,对合轨迹弧长 L 最短,对合的精度越高^[11]。如图 15 所示。

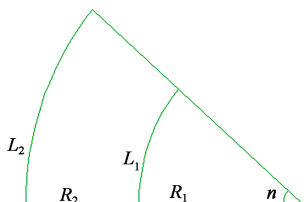


图 15 手动对合轨迹

Fig.15 Manual assembly route

其次分析设备自动对合:设备对合是真空吸嘴吸附面板,相机识别标准点位对位,面板整面下压对合,通过设备精度管控,面板与胶框凸点无接触^[11],从而不会形成凸点位置挤压漏光。

5 结果与讨论

L0 漏光是 ADS 产品顽固性不良,漏光形成

的根本原因是产品的形变及内应力作用。本文主要分析面板形变和内应力对漏光的影响,并通过实验从面板的制成工艺,及机构干涉方面着手,对各工艺段产品平坦度进行测量,查找内应力的来源,并设计实验找到工艺的最佳参数组合。总体来说,在 CF 和 TFT 对合后,密封胶固化前减少切割前面板运输途中设备支撑力不均,导致面板产生微形变,如减少运输翻转,增加支撑面板的面积,降低运输速度,提升面板的平坦度;COG 绑定工艺,通过降低绑定温度,减少 IC 和玻璃的热胀冷缩,减少形变量;背光源平坦度设计,通过管控胶框 Hook 卡合状态,保证 Hook 全部卡合完好,保证胶框平坦度,并将背光源平坦度管控增加至背光源入料检测关键尺寸;背光源上泡棉口子胶设计,分段式的口子胶代替全胶,降低胶的粘性等,降低口子胶对面板的拉力,针对窄长型呈下凹状态的面板,口子胶设计在短边代替设计贴附在长边,以达到不加重漏光的目的;其次模组组装工艺提升精度,如 FPC 的反折精度,减少 FPC 对面板的拉力/推力,减少面板的内应力;提升面板和背光源对合精度防止背光源胶框凸点对面板的挤压,减少 L0 漏光。

6 结 论

在 CF 和 TFT 对合后密封胶固化前,切割前面板不做翻转动作,可提升面板的平坦度;针对背光源的口子胶贴附,无胶状态最优,为防止面板在背光源中移动摩擦胶框导致背光源胶框屑增加,需要对面板进行固定,口子胶采用半胶代替全胶,贴附于面板形变的高点位置,如窄长型 ADS 面板呈现凹形变,口子胶需要贴附在背光源短边侧,避免贴附在凹型的低点,否则会加重面板的形变。最后,导入低温 ACF 绑定工艺,提升 FPC 反折精度,提升面板和背光源对合组装精度,均为减少面板的形变及内应力,最终通过设计变更及工艺优化,L0 漏光从 15% 不良降低至 0.1% 以内。

参 考 文 献:

[1] 袁静,宋冠男,田超.显示模组和显示装置:中国,CN104297961A[P].2015-01-21.

YUAN J, SONG G N, TIAN C. Display module and display device: CN, CN104297961A [P]. 2015-01-21. (in

Chinese)

- [2] 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,2016:155-176.
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: 155-176. (in Chinese)
- [3] 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)
- [4] 胡伟,穆洪杨,谈宝权,等.散射光弹性技术在化学钢化玻璃表面应力测量中的应用[J].玻璃与搪瓷,2017,45(5):29-33.
HU W, MU H Y, TAN B Q, *et al.* Measurement of surface stress of chemically strengthened glass by scattered light photoelasticity [J]. *Glass & Enamel*, 2017, 45(5): 29-33. (in Chinese)
- [5] 王自明,付淑敏,姚卫国,等.有机玻璃光弹性性能的实验研究[J].材料工程,1983(1):19-21.
WANG Z M, FU S M, YAO W G, *et al.* Experimental study on photo elastic properties of plexiglass [J]. *Journal of Materials Engineering*, 1983(1): 19-21. (in Chinese)
- [6] 廖红波,王婷,何琛娟,等.液晶盒双折射效应的测量与应用[J].大学物理,2016,35(8):44-47.
LIAO H B, WANG T, HE C J, *et al.* The measurement and application of the birefringence effect in liquid crystal cell [J]. *College Physics*, 2016, 35(8): 44-47. (in Chinese)
- [7] 李兴华,暴军萍,徐兵,等.液晶显示器模组黑态均匀性改善研究[J].液晶与显示,2018,33(4):271-276.
LI X H, BAO J P, XU B, *et al.* Improvement research of TFT-LCD module black uniformity [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(4): 271-276. (in Chinese)
- [8] 王永超,张志东,周璇,向列相液晶弹性各向异性诱导液晶盒产生漏光的研究[J].液晶与显示,2015,30(6):949-959.
WANG Y C, ZHANG Z D, ZHOU X. Study of light leakage induced by the elastic anisotropy of the nematic liquid crystal [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(6): 949-959. (in Chinese)
- [9] 尹刚,李成龙,陆建钢.IPS模式液晶显示器件中COG Mura的改善[J].工业设计,2016(3):173,179.
YIN G, LI C L, LU J G. Improvement of COG Mura in IPS mode liquid crystal display device [J]. *Industrial Design*, 2016(3): 173, 179. (in Chinese)
- [10] 车树勤.扇形弧长与面积公式之应用[J].中学课程辅导:高考版,2011(11):33.
CHE S Q. Thin film transistor liquid crystal display display principle and design [J]. Publishing House of Electronics Industry, 2011(11): 33. (in Chinese)
- [11] 赵国玲,黄永雄.车载背光源自动贴膜组装机的设计与应用[J].企业技术开发,2017,36(12):34-36.
ZHAO G L, HUANG Y X. Design and application of vehicle backlight automatic film assembly machine [J]. *Technological Development of Enterprise*, 2017, 36(12): 34-36. (in Chinese)

作者简介:



毛 蕾(1988—),女,安徽宣城人,学士,高级工程师,2014年于合肥工业大学获得学士学位,主要从事液晶显示行业车载产品良率提升及不良解析及改善方面的研究。E-mail:maolei@boe.com.cn