

文章编号:1007-2780(2018)10-0836-08

薄型化背光源顶白形成机理探讨及改善

唐胜果*,董春垒,刘子源,徐海丰,项海霞,张正元,随 鹏,马 勇,赵 曼

(合肥鑫晟光电科技有限公司,安徽 合肥 230012)

摘要:介绍了背光源顶白不良,探讨了顶白的形成机理。研究发现表面光滑反射片对导光板网点间留白区域的挤压是产生顶白的根本原因。由此提出通过改善背板局部凸起高度和增加反射片粗糙度来改善顶白。结果表明:顶白发生率随背板局部凸起高度降低和反射片表面粗糙度增加而明显降低。控制模具凸棱厚度可调整回压量,进而降低背板局部凸起高度。模具凸棱厚度为 0.05 mm 时,背板局部凸起高度均值由无回压时的 0.21 mm 降低至 0.11 mm,加速试验条件下对应顶白发生率由 50%降低至 18.7%;涂布不同大小粒子可调整反射片表面粗糙度。当反射片涂布 Bead 粒子径为 40 μm ,对应粗糙度为 6.29 μm 时,并搭配段差回压后背板,改善后背光源在加速试验条件下无顶白发生。同时,经光学、老化及振动测试,改善后背光源未发现其它相关不良。

关键词:顶白;薄型化背光源;粒子涂布;反射片;背板

中图分类号:TN942.1 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20183310.0836

Mechanism and improvement of extruded white spot in thin and slim BLU

TANG Sheng-guo*, DONG Chun-lei, LIU Zi-yuan, XU Hai-feng, XIANG Hai-xia,

ZHANG Zheng-yuan, SUI Peng, MA Yong, ZHAO Man

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

Abstract: This paper reports the extruded white spot (EWS) of BLU and the associated caused reasons, and studies the impaction of the height of local convexity on back cover and the roughness of reflector film on EWS. The results show that the incidence of EWS significantly reduces with the decrease in the height of local convexity. Under the best back-pressure process, the mean value of local convexity decline from 0.21 mm to 0.11mm. Accordingly, the incidence of EWS declines from 50% to 18.7% during THO & VIB accelerated tests. The anti-EWS ability of reflector film is obviously improved with the increase in roughness. There is no EWS occurred, when the roughness is 6.29 μm together with using back-pressure back cover.

Key words: extruded white spot; thin and slim BLU; beads coating; reflector film; back cover

收稿日期:2018-06-25;修订日期:2018-07-05.

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

1 引言

由于 TFT-LCD 不能发光,需要背光源实现其功能^[1]。背光源主要由背板、胶框、灯条、导光板及光学膜片组成。其工作原理为,导光板将从背光源侧边 LED 灯条射出的光线,通过全反射分布到背光源的整个面上。导光板上的全反射,使得光线在整个导光板内部传输,不能从导光板的上侧即背光源正面射出。为了将光线从背光源正面射出,在导光板下侧的网点将光线的全反射变为乱反射,经反射片反射后射出导光板^[2]。从导光板正面射出的光线依次经扩散片雾化和棱镜片聚光作用后形成均匀面光源。

近年来,无边框、薄型化、高亮度、低功耗等特性成为 TFT-LED 发展的趋势^[3]。背光源作为整个 TFT-LCD 提供机械支撑与光源的核心部件,其亮度、厚度在很大程度上决定 TFT-LCD 模组亮度及厚度。因此,上述 TFT-LCD 特性必将通过调整背光源来实现。然而,在采用薄型化导光板及光学膜片以降低背光源厚度,并提升光线透过率的同时,将带来导光板抗机构干涉能力变弱及光学膜片遮蔽性变差等其它问题。因此,薄型化背光对背板平坦度要求更高。在普通背光源很少发生的顶白不良成为薄型化机种的典型问题。

2 顶白介绍

顶白外观与背光白斑类似(图.1),因其为导光板受顶压导致,故称顶白。顶白一般发生在薄型化背光源入光侧,且该不良具有进行性:高温高

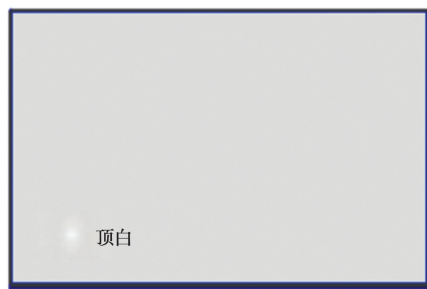


图 1 背光源顶白示意图

Fig.1 EWS (Extruded white spot)

湿环境存储或长距离运输可产生或加重顶白。因此,可通过高温高湿存储老化实验或振动测试来评估背光源的抗顶白能力。

3 顶白形成机理探讨

3.1 光线在导光板内的传输

侧入光方式背光源,光线从导光板入光侧到出光侧传输过程中强度逐渐下降。为补偿出光侧光强损失,需要通过控制网点大小及疏密程度来调节光线在导光板上的分布,从而将灯条发出的线光源转化为均匀面光源^[4-5]。图 2 为 BOE 某高端机种导光板网点密度曲线。网点密度随光线在导光板内传输距离增大先是明显增加,然后在出光侧逐渐减小。这是因为在导光板出光侧贴有侧反,其作用是将原本从出光侧端面射出导光板的光线重新反射进导光板。反射光线加强了出光侧光强,相应地,网点密度需适当降低以抵消反射光线。图 2(a)、(b)和(c)依次为导光板入光侧,中部和出光侧的网点放大图。表 1 为网点高度、间距及大小在导光板以上 3 个位置的测量值。从表 1 可以看出,网点高度在导光板各位置几乎保持不变,约为 $7.2\ \mu\text{m}$ 。从入光侧到出光侧,网点间距逐渐减小,网点直径逐渐增大:入光侧网点间距为 $507\ \mu\text{m}$,中部间距为 $398\ \mu\text{m}$,出光侧进一步减小为 $169\ \mu\text{m}$ 。相应地,网点大小从入光侧的 $262\ \mu\text{m}$ 逐渐增大至出光侧的 $618\ \mu\text{m}$ 。

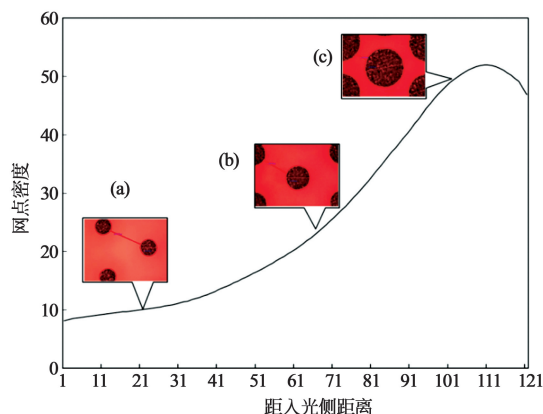


图 2 网点密度曲线

Fig.2 Density curve of dot on LGP

表 1 网点高度、间距及大小在导光板上的变化

Tab.1 Height, separation distance and size of dot

位置	入光侧	中部	出光侧
网点高度/ μm^*	7.25	7.21	7.24
网点间距/ μm^{**}	507	398	169
网点大小/ μm^{**}	262	374	618

说明: * 测试设备:3D 显微镜,型号 Keyence-VK-X250K

** 测试设备:显微镜,型号 SEC-2000MA40

图 3(a)为正常况下光线在导光板上传导示意图。导光板是通过其网点与反射片接触,从而在导光板无网点的留白区域与反射片形成与网点高度相当的间隙。使得投向留白区域的光线发生全反射。全反射使光线在导光板内继续向出光侧传导,直到遇到网点后才射出导光板(图 3(a)中光线Ⅲ)。然而,当背板局部有凸起时,如图 3(b)所示,在背板段差处的局部凸起通过反射片顶压导光板,使导光板产生形变。同时,在顶压作用下,反射片与导光板留白区域的直接接触将改变该区域的界面:由正常情况下的 PMMA(导光板材质)-空气界面变为背板凸起时的 PMMA-PET(反射片材质)界面。以上因顶压产生的形变和界面变化,将使得光线在此处的全反射遭到破坏,射向此处的部分光线将从导光板正面射出。原本在图(a)中光线Ⅲ经过多次全反射后最终在出光位置经网点乱反射后射出导光板。但在图(b)中,光线Ⅲ在背板顶压处的全反射遭到破坏,将提前射出导光板,从而使从该处射出导光板的光线增强,形成顶白。

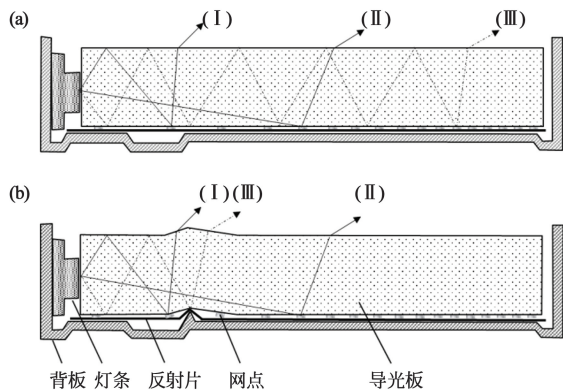


图 3 背光顶白的形成

Fig.3 Formation of extruded white spot

3.2 顶白产生机理

光线从光密介质进入光疏介质,当入射角增大到某临界角时,发生全反射。由此,在导光板受到顶压处全反射遭到破坏的机理可从两方面分析:一是因导光板拱翘使此处光线入射角变小,当入射角小于临界角时,全反射消失;二是界面变化,若光密介质进入光疏介质这一前提条件破坏,则全反射消失。以下将结合 BOE 某高端机种实际情况,从入射角和界面两个方面讨论顶白产生机理。

图 4 为背板凸起高度对全反射影响。相关参数意义请参考注释。图中 h 和 d 值因导光板从背光源取出后拱翘将恢复平整而无法直接测量。我们通过测试背板凸起对应的值来替代 h 和 d 。测试方法为,用块规将背板折边朝上支立在大理石平台上,然后用靠尺来回摩擦背板。凸起处因摩擦脱锌,将呈现中心发亮,沿四周逐渐变淡的圆形或条形区域。发亮中心到脱锌边缘的距离即为 d 。用高度规标定脱锌边缘为基准点,量测发亮中心高度即为 h 。

从图 4 可以看出,背板凸起越高,即 h 值越大,则入射角 γ 越小。当 γ 小于临界角时,全反射消失。以下将计算全反射消失时凸起的最小高度 $h_{\min}$ 。

由几何关系可得:

$$h_{\min} = d \times \tan \alpha, \quad (1)$$

$$\alpha = 90^\circ - (\beta + \gamma), \quad (2)$$

$$\beta = \arctan(H/L), \quad (3)$$

要求得 $h_{\min}$, α 需取最小值,则 β 、 γ 需取最大值。要使 β 取最大值,因 H 为常数值,则需 L 取最小值。 $L_{\min}$ 为灯条到 TFT-LCD 显示区域最小距离。此例中 H 、 $L_{\min}$ 设计值分别为 1.6 mm 和 7.4 mm; γ 最大值为临界角,即 $\gamma_{\max}$ 为 42.5° ; d 值实测为 10 mm。将式(2)、(3)代入式(1),并代入相关参数值计算可得: $h_{\min} = 5.8$ mm。

然而, h 实际测试值约 0.2~0.3 mm(参考图 6),远小于 $h_{\min}$,说明入射角不会影响光线在导光板内的全反射。下文将继续探讨界面变化对全反射影响。

图 4 中: H 为灯条发光点到导光板底面的最大垂直距离;

L 为发光面到背板凸起根部的距离;

h 为导光板拱翘高度;

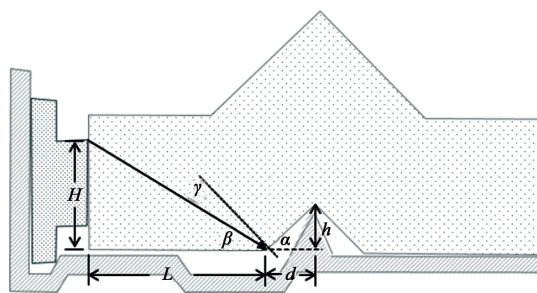


图 4 凸起高度对全反射影响

Fig.4 Impaction of height of convexity on total reflection

d 为导光板拱翘最高点与其根部的水平距离;

α 为导光板拱翘坡面与底面夹角;

β 为入射光线与导光板底面夹角;

γ 为入射角,小于临界角 42.5° 时全反射消失^[1]。

PMMA 材质导光板折射为 1.49, PET 材质反射片折射率为 1.65^[6]。因此,光线从导光板进入反射片是不会发生全反射的。图 5(a)和(b)分别为入光侧与出光侧反射片与导光板挤压情况示意图。如图 5(a)所示,入光侧网点间距大,即网点间留白区域大,在受到背板凸起顶压时,因缺乏足够网点支撑使反射片直接与导光板留白区域相互挤压,形成 PMMA-PET 界面。全反射破坏后传输至此的部分光线将从导光板正面射出,使该区域的光线得到加强,导致顶白。反观出光侧,如图 5b 所示,因网点越大、间距越小其支撑性越好,反射片与导光板留白区域在顶压处始终能保持间距,PMMA-空气界面得以维持。光线经导光板留白区域时仍保持全反射。这也能很好的解释顶白集中在入光侧的原因。

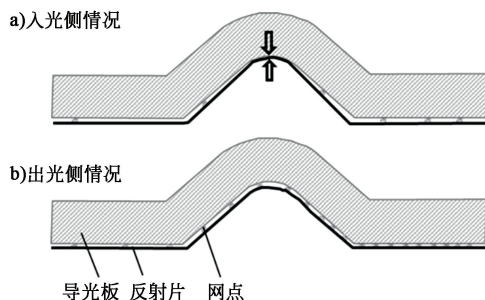


图 5 反射片对导光板留白区域的挤压情况

Fig.5 Extrusion model between the reflection and LGP

4 顶白改善

据以上顶白形成机理,可从两方面改善顶白:一是降低背板局部凸起高度以改善凸起对导光板的顶压;二是增加反射片粗糙度,以补偿导光板底面留白区域无网点支撑的空白。

4.1 背板局部凸起改善

背板是通过工程模分步冲压成型的。为提升背板对液晶模组的支撑能力及与整机系统的匹配性,需要在背板上冲压加强筋或避位槽。模具下冲弯折凹槽时,弯折处受钢板恢复形变应力回弹,从而在凹槽段差周边产生局部凸起^[7]。目前,业内针对背板局部凸起的整平工艺有冲压整形和段差回压两种。冲压整形是在工程模末端增加整平模具,用于整平整个背板平面。段差回压则是在凹槽成型后增加回压工艺,具体是在回压模具上依凹槽段差轮廓铣出一圈高度为 $0.01 \sim 0.1$ mm,宽度为约为 2 mm 的凸棱。冲压时模具上的凸棱将背板凹槽周边凸起重新压回,并消除残余回弹应力。

图 6 为整平工艺对背板局部凸起的改善效果对比。仅增加冲压整形,背板整体翘曲均值由 0.29 mm 下降到 0.20 mm,凹槽周边局部凸起均值几乎无变化,仅增加段差回压工艺,背板整体翘曲略有改善,由 0.29 mm 下降到 0.25 mm;局部凸起均值由 0.21 mm 显著下降到 0.11 mm。以上结果表明,冲压整形和段差回压对改善背板整体翘曲和局部凸起各有侧重:冲压整形对背板整体翘曲有明显改善,而段差回压则能显著改善背板凹槽段差周

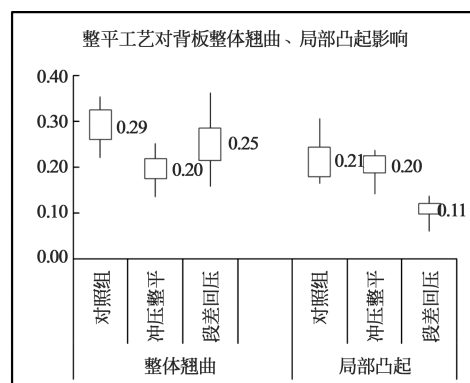


图 6 整平工艺对背板整体翘曲、局部凸起影响(单位:mm)

Fig.6 Impaction of stamping process on BC flatness (Unit: mm)

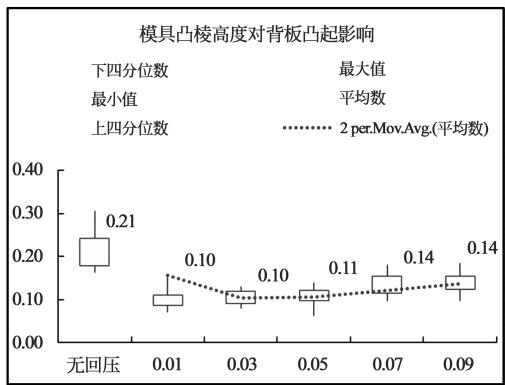


图 7 模具凸棱高度对背板凸起影(单位:mm)
Fig.7 Impaction of mould bulge on local convexity
(Unit: mm)

边凸起。显然,段差回压更适合改善顶白。

图 7 为模具凸棱高度对凹槽周边凸起高度的影响。相对于无回压,不同高度凸棱均对凸起均有改善。其中,凸起高度随凸棱高度度增加先显著下降,当凸棱厚度达到 0.03 mm 后,凸起高度开始缓慢增加。通过对回压线及回压周边形貌分析,呈现这一变化趋势是因为当凸棱厚度较薄时,模具对局部凸起的压入量有限,矫正效果稍差,0.01 mm 凸棱回压时甚至观察不到回压线。随着凸棱厚度增加,压入量增大,矫正效果改善。但当凸棱厚度超过 0.07 mm 后,在回压线侧边出现挤料,产生新凸起。因此,考虑模具凸棱在冲压过程中的磨损,在生产过程中选用 0.05 mm 凸棱厚度作为后续量产条件,此时局部凸起均值 0.11 mm。回压线清晰可见,便于量产目视化管理。

为验证段差回压工艺对凸起高度改善的量产稳定性,对冲压厂每天开班首检背板凸起实测高度持续监控。图 8 为段差回压导入前后凸起高度随生产时间推移的单值管控图。可以看出,段差回压导入后凸起高度受控。段差回压导入前凸起高度均值为 0.21 mm。段差回压导入后凸起高度均值为 0.11 mm,控制线较段差回压前明显收窄。以上结果表明,段差回压工艺稳定可控,可持续稳定量产。

在 BOE 某高端模组产品上,验证背板局部凸起高度对顶白的影响。如表 2 所示:改善前背板局部凸起均值为 0.21 mm,THO 后 16 片发生 1 片顶白,经 VIB 测试后新增 7 片。总不良率 50%;改善后背板局部凸起高度均值为 0.11 mm,

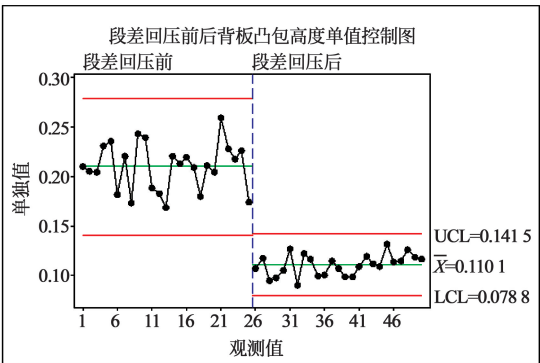


图 8 段差回压前后背板凸包高度的单值控制图(单位:mm)
Fig.8 Control chart of convexity height before and after convexity improvement process (Unit: mm)

THO 后 16 片无顶白,经 VIB 测试后发现 3 片。总不良率 18.7%。以上结果表明:顶白发生率随局部凸起高度下降明显降低。但受制于背板冲压工艺及材料特性,不能完全消除凹槽段差周边局部凸起,进而无法仅从改善背板局部凸起入手彻底改善背光源顶白。

表 2 局部凸起改善前后顶白发生率对比

Tab.2 Comparison of EWS incidence before and after local convexity improvement

局部凸起	初检	THO	VIB	不良率/%
改善前	0/16	1/16	7/16	50.0%
改善后	0/16	0/16	3/16	18.7%

THO (Temperature & humidity operation): 50℃, 80%RH, 2 h

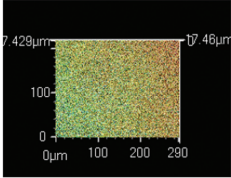
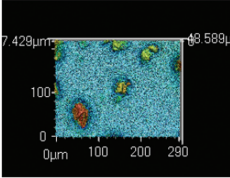
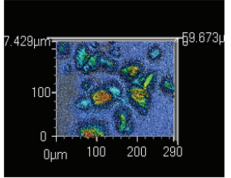
VIB (Vibration test): 1.2 Grms, 1 ~ 200 Hz, X/Y per 0.5 h, +Z 1 h

4.2 改变反射片粗糙度

表 3 列出了某厂商生产的 3 种型号反射片表面特性参数。该厂商原本旨在通过涂布粒子来防止反射片对导光板的划伤。本文则选用它们来验证表面粗糙度对顶白的改善。其中 B Type 为 BOE 量产用反射片,未涂布粒子。S Type 涂布粒子大小均值为 20 μm,对应粗糙度为 3.72 μm; L Type 涂布粒子大小均值为 40 μm,对应粗糙度为 6.29 μm。以下将分别验证 S Type 与 L Type 反射片粗糙度对顶白的改善。

表 3 涂布不同大小粒子反射片物性表

Tab.3 Properties of reflector film coated by different size beads

底反型号	B Type	S Type	L Type
表面形貌			
涂层厚度	None	10 μm	30 μm
总厚度	225 μm	235 μm	250 μm
粒子大小	None	20 μm	40 μm
粗糙度	0.89 μm	3.72 μm	6.29 μm
反射率/%	97.4	97.1	97.3

说明:表面形貌及粗糙度使用 3D 显微镜测试(型号:Keyence-VK-X250K)

表 4 为 S Type 与 L Type 反射片搭配段差回压后背板的抗顶白能力测试结果。结果显示,随反射片粗糙度增加,背光抗顶白能力增强。其中,当布粒子为 20 μm、粗糙度为 3.72 μm 时,S Type THO 后无顶白发生,再经 VIB 后新增两片顶白,发生率 12.5%。当涂布粒子为 40 μm、粗糙度为 6.29 μm 时,L Type THO & VIB 测试后无顶白发生。

表 4 不同粗糙度反射片抗顶白能力比较

Tab.4 The different anti-EWS ability on different roughness reflector

反射片	粗糙度/μm	初检	THO	VIB	不良率/%
B Type	0.89	0/16	0/16	3/16	18.7
S Type	3.72	0/16	0/16	2/16	12.5
L Type	6.29	0/16	0/16	0/16	0.0

L Type 替代原来 B Type 反射片、并搭配回压后背板虽可彻底改善顶白,但两种反射片在厚度,反射率及粒子涂布方面的差异将影响背光机械性能及光学参数。为确保在改善顶白同时不会引入其它问题,有必要对可能被影响到的参数进行探讨。Tab.5 为分别搭配 B Type 和 L Type 反射片的背光源(下文分别称背光 B 和背光 L)画面、光学及信赖性的差异对比。画面品味方面,背光 L 与背光 B 目视无差异。光学方面,分别测试两种背光的亮度、色度及均一度,并对以上参数均值假设检验(α 取 0.05)。结果显示背光 B 与背光 L 各项光学测试结果均在规格内,且 P 值均大于 0.05,说明 L Type 替代原来 B Type 反射片后,背光光学各项参数无显著差异。信赖性方面,虽然 L Type 较 B Type 反射片厚 25 μm,表面处理也不一样,但通过 TST、THO、HTO 老化及 VIB 测试,未发现膜片褶皱,划伤等不良。以上测试结果充分说明,粗糙度为 6.29 μm 的 L Type 反射片替换表面光滑的 B Type 反射片来改善顶白,不会引入其他问题。

表 5 涂布不同大小粒子反射片抗顶白能力比较

Tab.5 Anti-EWS ability of reflector film coated by different size beads

分类	项目	测试条件	测试设备	规格	背光 B	背光 L	P 值
画面	画面品味	照度 ≤ 50 Lux	裸眼	无黑/白影	←	←	—
光学	亮度	暗室	PR730	$\geq 4\ 600$ Lux	5361	5349	0.875
	色度 X	暗室	PR730	0.282 ± 0.02	0.283	0.281	0.401
	色度 Y	暗室	PR730	0.258 ± 0.02	0.256	0.259	0.222
	均一度	暗室	PR730	$\geq 76\%$	88.1%	86.6%	0.483
老化	TST	$-20 \sim 60\ ^\circ\text{C}$, 120 h	老化炉	无异常	←	←	—
	THO	$50\ ^\circ\text{C}$, 80%RH, 240 h	老化炉	无异常	←	←	—
	HTO	$60\ ^\circ\text{C}$, 240 h	老化炉	无异常	←	←	—
机械	VIB	参考表 2	VIB Tester	无异常	←	←	—

TST: Temperature shock test($-20 \sim 60\ ^\circ\text{C}$, 1 h/cycle, 120 h)HTO: High temperature operation($60\ ^\circ\text{C}$, 240 h)

5 结 论

顶白是薄型化背光源典型顽固性不良。本文从顶白现象及背光结构入手,分析顶白形成机理。发现反射片对导光板网点间留白区域的挤压是产生顶白的根本原因。由此提出通过改善背板局部凸起高度和增加反射片粗糙度来改善顶白。结果表明:顶白发生率随背板局部凸起高度下降和反射片表面粗糙度增加而明显降

低。控制模具凸棱厚度可调整回压量,进而降低背板局部凸起高度。模具凸棱厚度为 0.05 mm 时,背板局部凸起高度均值由无回压时的 0.21 mm 降低至 0.11 mm,对应顶白发生率由 50%降低至 18.7%。涂布不同大小粒子可调整反射片表面粗糙度。当反射片涂布 Bead 粒子径为 40 μm ,对应粗糙度为 6.29 μm 时,并搭配段差回压后背板,改善后背光源在加速试验条件下无顶白发生。同时,经光学、老化及振动测试,改善后背光源未发现其他不良。

参 考 文 献:

- [1] 季旭东. LCD 背光源产品的新发展 [J]. 液晶与显示, 2002, 17(2): 119-127.
JI X D. New development of LCDs backlight [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2002, 17(2): 119-127. (in Chinese)
- [2] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
MA Q G. *Theory and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2011. (in Chinese)
- [3] 邱庆荣. 关于超薄 LED 背光模组设计探讨 [J]. 电子测试, 2017(11): 99, 94.
QIU Q R. Discussion on the design of ultra-thin LED backlight module [J]. *Electronic Test*, 2017(11): 99, 94. (in Chinese)
- [4] 谢洪波, 李韬, 李富琳, 等. LED 背光源中侧发光导光管长度与出光性能的关系 [J]. 发光学报, 2011, 32(9): 934-938.
XIE H B, LI T, LI F L, et al. Relationship between the length and emitted light property of side-emitting light pipe in led back light source [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2011, 32(9): 934-938. (in Chinese)
- [5] 黄肿, 姜言森, 沈奕, 等. 侧光式 LED 背光源的导光板网点设计 [J]. 应用光学, 2008, 29(5): 689-692.

- HUANG C, JIANG Y S, SHEN Y, *et al.* Design of scattering netted dots on light guide plate of edge-lighting LED backlight [J]. *Journal of Applied Optics*, 2008, 29(5): 689-692. (in Chinese)
- [6] Hanemann T. Refractive index modification of polymers using nanosized dopants [J]. *SPIE*, 2008, 6992: 69920D.
- [7] 郭立新. U 型冲压件弯曲回弹的控制研究 [J]. *机械设计与制造*, 2012(9): 237-239.
- GUO L X. The study of springback control for the U-punching parts [J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2012 (9): 237-239. (in Chinese)

作者简介:唐胜果(1985—),男,湖南益阳人,硕士,高级工程师,2012 年于湖南大学获得硕士学位,主要从事 BLU 产品设计及品质管理。E-mail: tangshengguo@boe.com.cn