

文章编号:1007-2780(2018)12-0989-07

ADS TFT-LCD 漏光敏感性影响因素研究与改善

冯 伟*, 张 然, 梁恒镇, 谢勇贤, 周纪登, 马 睿
(合肥鑫晟光电科技有限公司 产品技术部, 安徽 合肥 230001)

摘要: ADS TFT-LCD 暗态受外力时存在漏光亮度高、范围大、颜色偏黄的敏感性差问题, 模组极易产生漏光。本文研究了玻璃、液晶和隔垫物(PS)3 方面对暗态漏光敏感性的影响。研究得出, 玻璃厚度减小, 可以改善按压亮度变化, 例如外力 30 N 时, 0.5 T 玻璃的 L_0 亮度相比 0.7 T L_0 亮度下降了 33%; 降低液晶 Δnd 可以改善按压发黄; 相同 Δnd , 减小 Δn , 增加 K, 可减少 LC 散射, 继而可减小按压亮度高和范围大问题, 例如外力 30 N 时, 散射值 0.027 的 L_0 亮度相比散射值 0.038 的 L_0 亮度下降了 28%; 增加 PS 的支撑密度, 可以减小按压亮度和范围的变化, 例如 PS 密度 3 168 $\mu\text{m}^2/\text{mm}^2$ 的 L_0 亮度相比 PS 密度 2 364 $\mu\text{m}^2/\text{mm}^2$ 的 L_0 亮度下降了 22%。通过以上措施, 可以改善 ADS 产品 L_0 漏光敏感性。本文对敏感性改善的机理也做了相应解释。

关键词: 漏光敏感性; 液晶散射; PS 支撑密度

中图分类号: TP394.1; TH691.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20183312.0989

Research and improvement of influencing factors on ADS TFT-LCD light leakage sensitivity

FENG Wei*, ZHANG Ran, LIANG Heng-Zhen, XIE Yong-Xian, ZHOU Ji-Deng, MA Rui

(Product Integration Department, Hefei Xinsheng Optoelectronics Technology Co., Ltd.,
Hefei 230001, China)

Abstract: ADS TFT-LCD module easily produces Dark light leakage due to the problem of poor light leakage sensitivity. Poor light leakage sensitivity appears with high brightness, large leakage range and yellow color when an external force is applied. In this paper, the effects of glass, LC and PS on the sensitivity to dark light leakage were studied. The result shows that the reduction in glass thickness can improve brightness change, and the decline of Δnd can improve yellow color when an external force is applied. For example, when external force 30 N, 0.5 T glass L_0 brightness is lower than 0.7 T L_0 brightness by 33%. The result reveals if the Δnd is the same, decreasing Δn or increasing K can reduce LC scatter, which can improve high brightness and large range light leakage. For example, when the external force 30 N, the L_0 brightness of the scattering value of 0.027 is reduced by 28% compared with the scattering value of 0.038. The result also shows that the increase of PS support density can improve high brightness and large range light leakage. For example, the L_0 brightness of PS density of 3 168 $\mu\text{m}^2/\text{mm}^2$ is lower than PS density of 2 364 $\mu\text{m}^2/\text{mm}^2$ by 22%. The solution to light

收稿日期: 2018-06-24; 修订日期: 2018-09-15.

* 通信联系人, E-mail: fengw@bae.com.cn

leakage sensitivity was established by the research and its theoretical explanation was also given.

Key words: light leakage sensitivity; liquid crystal scatter; PS support density

1 引言

伴随着显示科技的发展,薄膜晶体管液晶显示器(TFT-LCD)以其低工作电压、低功耗、低辐射、以及轻薄美观等优势,为大众所喜爱,应用范围越来越广。目前,TFT-LCD有多种显示模式,如TN、VA、IPS、ADS(IPS-pro)^[1~5] and OCB等。VA、IPS和ADS模式因其具有广视角、高透过率和高对比等优点,已经在TV和MNT等多种产品上得到广泛应用。同时,随着技术的发展,人们对液晶显示器显示性能也提出了越来越高的要求,如整个显示器的画质要求,对漏光的要求也越来越苛刻。ADS和IPS模式在受到外力的挤压或按压作用时由于玻璃的光弹性,受力后产生相位差^[6-7],同时ADS和IPS LC模式的各项异性会放大玻璃受压产生的相位差,产生漏光,影响画面品质。本文主要从玻璃,LC及PS等方面研究了ADS模式外力作用出现漏光亮度高、范围大、颜色偏黄的敏感性差问题的影响因素,找到暗态(L0)漏光敏感性差的关键影响点,从而改善ADS产品组成模组因其受到挤压产生的漏光,改善画面品质。本文从机理上解释了敏感性相应改善。

2 漏光原理

ADS和IPS模式在受到外力产生漏光是玻璃光弹性以及LC的各项异性共同作用产生的结果。

(1)玻璃光弹性理论:受力变形产生相位差

光弹性是基于一些透明材料的双折射现象,双折射指光线透过材料时表现出两种不同的折射率,在许多晶体中可以观察到这种现象。各向同性的物质在外力作用的情况下也会发生各向异性的现象,即在不同的受力状态下折射率是不一样的,光弹性材料的某一点的折射率大小和该点的应力状态直接相关。玻璃在外力作用下产生双折射现象。由此产生的光学延迟量和所受到的应力关系式为:

$$R = Ct\sigma, \quad (1)$$

其中: C 为玻璃的光弹性系数, t 为玻璃厚度, σ 玻璃受到的外力。

(2)由于ADS模式的LC各项异性会放大玻璃受压产生的相位差,所以产生漏光,如图1所示,TFT-LCD显示屏由上下偏光片(POL),阵列基板(TFT),彩膜基板(CF)以及中间液晶层(LC)组成。

(a)无外力作用时,玻璃无应力,不会产生相位延迟量,光线经过TFT侧POL以及TFT玻璃,LC层,CF玻璃以及POL,无相位延迟产生,没有漏光;

(b)外力作用时,玻璃存在应力,产生相位延迟量,光线经过TFT侧POL以及TFT玻璃,LC层,CF玻璃以及POL,产生叠加的相位延迟,总相位延迟量的大小即为漏光量,相位延迟量越大,漏光亮度越高,范围越大,漏光敏感性越差。

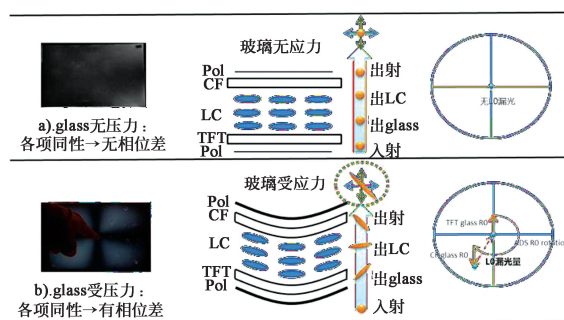


图1 暗态外力作用漏光机理。(a)玻璃无应力;(b)玻璃受力。

Fig.1 Mechanism of dark external force leakage. (a) glass without stress; (b) glass with stress.

3 分析方法

ADS产品虽然受到外力作用时不可避免会产生 L 漏光,但如何减少外力作用时产生的漏光影响是本文研究的重点。为此,本文提出了 L 漏光敏感性的概念以及量化的测试方法。 L 漏光敏感性是指液晶显示屏受到外力作用时产生漏光区域的大小、亮度值高低、颜色变化。 L 漏光敏感性越差表示受到外力作用时产生漏光区域越大、亮度值越高、颜色变化越明显。如图2为加

压测试漏光示意图,图 3 为加压测试漏光实际现象。本实验将液晶显示屏放在背光中, L 。画面用压力计在面内施加不同压力,观察漏光呈现以压力计压头为中心向四周发散的 4 个花瓣状,通过 CA310 测试固定位置的漏光亮度值和色坐标变化,同时使用直尺测量漏光区域长轴、短轴的大小,综合以上数据对比初始无压力状态数据,得到漏光的颜色和亮度差大小及范围的变化,表征 L 。漏光敏感性的优劣差异。

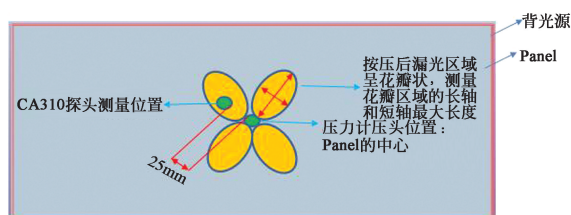


图 2 加压测试漏光示意图

Fig.2 Schematic diagram of leak detection under pressure test



图 3 加压测试漏光现象

Fig.3 Light leakage under pressure test

4 分析结果与讨论

4.1 玻璃对 L 。漏光敏感性的影响

玻璃受力形变时,根据光弹性理论,会产生相位延迟,而相位延迟量与玻璃厚度的关系式为:

$$K_{\text{ret}} = Ct\sigma, \quad (1)$$

其中: C 为玻璃的光弹性系数,只与玻璃的材质有关, t 为玻璃厚度, σ 为玻璃所受的应力。根据关系式可知,在相同的玻璃材质与应力条件下,降低玻璃厚度,有利于减小相位延迟量,可以降低 TFT-LCD L 。画面受外力时出现的漏光。

通过制备 55 ADS 不同基板厚度的 TFT-LCD 产品,分别为 0.5 mm(0.5 T)和 0.7 mm(0.7 T),其他参数均相同,如表 1 所示,按照 L 。敏感性的分析测试方法,得到结果如图 4 所示,相同压力下 55 ADS 厚度为 0.5 T 的亮度值变化小于 0.7 T,尤其是压力较大时,两者的差异明显,如 30 N 时 0.5 T 玻璃的 L 。亮度(0.4)相比 0.7 T L 。亮度(0.6 cd/m²)下降了 33%。图 5 和图 6 为 55 ADS 不同厚度的外力作用时色坐标 x 和 y 的变化,两者差异不大,宏观观察颜色差异不大。综合判断降低玻璃厚度有利于改善 L 。漏光亮度变化的敏感性。

表 1 55 ADS 不同厚度产品的参数

Tab.1 55 ADS products parameters of different thickness

参数	$t=0.5$ mm	$t=0.7$ mm
LC	5 239	5 239
n_e	1.611	1.611
n_o	1.49	1.49
$\Delta n = n_e - n_o$	0.121	0.121
K_{ave}	11.2	11.2
$d/\mu\text{m}$	3.04	3.04
$\Delta nd/\text{nm}$	368	368
S_p	0.038	0.038
PS 接触密度($\mu\text{m}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$)	2364	2364

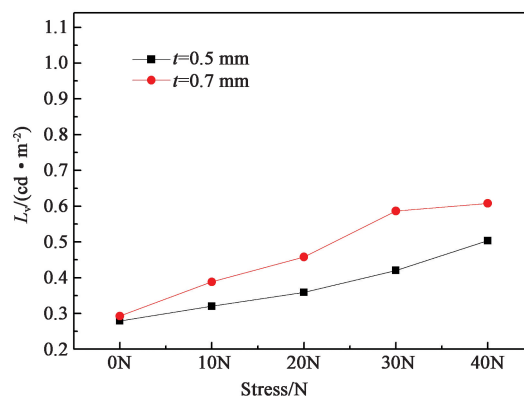


图 4 55 ADS 不同厚度产品不同外力时亮度变化

Fig.4 Brightness variation of 55 ADS products with different thickness under different external forces

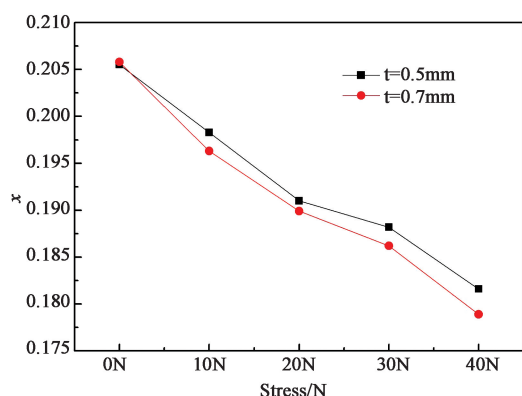


图 5 55 ADS 不同厚度产品不同外力时色坐标 x 变化

Fig.5 Color coordinate x variation of 55 ADS products with different thickness under different external forces

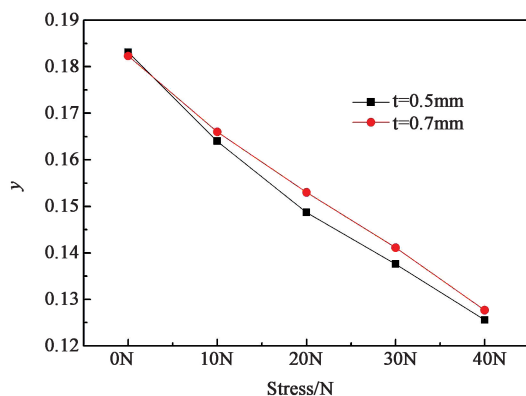


图 6 55 ADS 不同厚度产品不同外力时色坐标 y 变化

Fig.6 Color coordinate y variation of 55 ADS products with different thickness under different external forces

4.2 液晶对 L 。漏光敏感性的影响

我们知道入射光经过液晶层的相位差 Δnd (Δn 是液晶长轴和短轴折射率的差, d 指液晶层厚度) 是影响 TFT-LCD 光学特性的重要参数。已有相关研究表明^[7]: 不同颜色的光线由于波长不同, 其产生的相位延迟量有所差异, 与玻璃受外力时产生延迟量综合作用的结果会表现出不同颜色的漏光, 如图 7 所示, Δnd 变化范围 290~390 nm, 增加 Δnd , L 。漏光颜色逐渐由显蓝至变黄。而在暗态时, 偏黄的颜色会使液晶显示器的视觉差异更明显, 因此, 在维持一定的透过率前提下, 尽可能降低 Δnd 值可以有效改善 L 。受外力作用

的漏光发黄, 使漏光颜色显蓝, 改善漏光敏感性。然而考虑透过率最大化的要求, Δnd 需要选定在一定范围, ADS 产品一般选择 Δnd 范围为 340~360 nm, 小于 340 nm 很难满足透过率的要求。如何针对 Δnd 范围为 340~370 nm ADS 产品, 提高 L 。漏光敏感性是本文研究的主要方向。

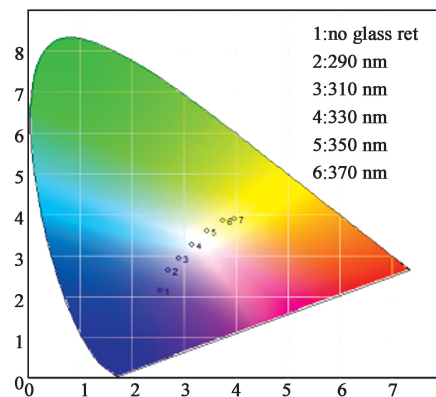


图 7 不同 Δnd 下 ADS 产品漏光颜色变化

Fig.7 Color change of ADS products with different Δnd

已有相关研究表明光线通过液晶盒时, 液晶材料对光进行散射, 由光学原理可知, 在散射过程中, 入射光的偏振态会发生改变。因此, 在 ADS 显示模式的暗态 L 。下, 透过下偏光片的偏振光垂直于上偏振光片透过轴而无法透出, 但当偏振光在液晶中发生散射后, 部分偏振光发生改变, 改变后的偏振光在上偏光片透过轴方向存在分量, 所以投射出上偏光片, 形成漏光。散射越强, 漏光亮度值越高。而液晶层的散射大小与各参数的关系可表达为

$$S_p = [\Delta n^2 (n_e + n_o)^2 d] / K, \quad (2)$$

式中: S_p 是液晶层的散射强度; d 是液晶盒厚, Δn 是长轴和短轴的折射率差; n_e 和 n_o 分别是液晶长轴和短轴的折射率;

$$K = (K_{11} + K_{22} + K_{33}) / 3, \quad (3)$$

K_{11} 、 K_{22} 、 K_{33} 分别为液晶的展曲形变、扭曲形变和弯曲形变的弹性常数。实验通过选用不同液晶材料和不同的液晶层盒厚 d , 保证一定的 Δnd , 制备不同的 ADS 产品, 研究液晶的 L 。散射对漏光敏感性的影响。

表 2 为实验选用的 55 ADS 不同散射强度产品的主要参数, 其中 Δnd 固定为 364 nm, 液晶层的散射强度差别外, 其他条件相同。

表 2 55 ADS 不同散射值产品参数

Tab.2 55 ADS products parameters of different scattering

参数	$S_p=0.027$	$S_p=0.034$	$S_p=0.038$
LC	1 284	5 428	5 239
n_e	1.523	1.591	1.611
n_o	1.486	1.483	1.490
$\Delta n=n_e-n_o$	0.097	0.108	0.121
n_e+n_o	3.009	3.074	3.101
K_{ave}	11.9	10.8	11.2
$d/\mu\text{m}$	3.75	3.37	3.01
Δnd	364	364	364
PS 接触密度/ ($\mu\text{m}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$)	2 272	2 272	2 272

图 8 为不同散射强度的液晶盒在在 L_o 状态受到外力作用时漏光亮度变化,图 9 为漏光区域长轴的大小,图 10 和 11 为漏光的色坐标 x 和 y 的变化。由图 8~11 可知,较低 LC 散射强度的液晶盒在暗态受到外力作用时,其亮度变化和漏光区域均较小,色坐标的变化相对较小,如外力 30 N 时,散射值 0.027 的 L_o 亮度(0.8 nit)相比散射值 0.038 的 L_o 亮度(1.1 cd/m^2)下降了 28%,漏光的长轴和短轴长度分别下降了 28%和 25%。综合判断,降低 LC 的散射强度,有利于改善 L_o 漏光敏感性。

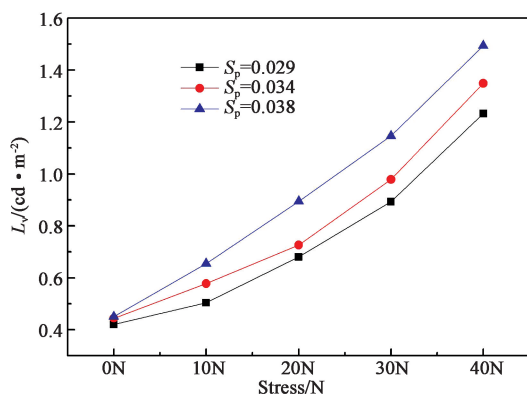


图 8 55 ADS 不同散射产品不同外力时亮度变化

Fig.8 Brightness variation of 55 ADS products with different scattering under different external forces

通过公式(2),根据不同 LC ADS 产品参数计算散射强度,发现 Δn 和 K 值的影响较大,而不同 LC 的 n_e+n_o 差异不大,散射强度是其平方

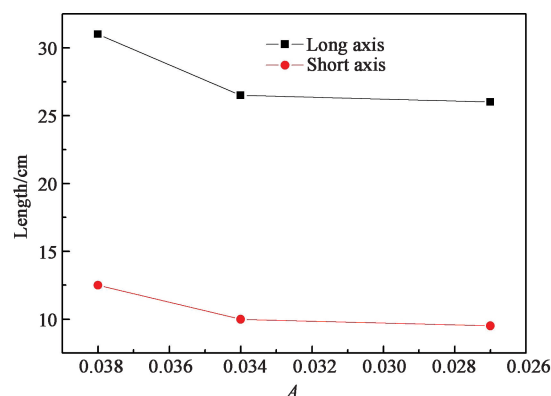
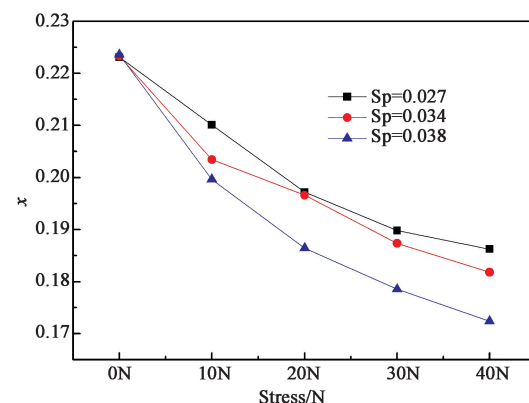
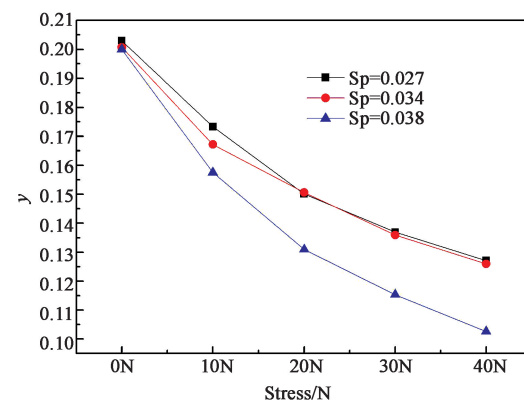


图 9 55 ADS 不同散射产品 30 N 外力时漏光范围

Fig.9 Leakage range of 55 ADS products with different scattering under 30 N external forces

图 10 55 ADS 不同散射产品不同外力时色坐标 x 变化Fig.10 Color coordinate x variation of 55 ADS products with different scattering under different external forces图 11 55 ADS 不同散射产品不同外力时色坐标 y 变化Fig.11 Color coordinate y variation of 55 ADS products with different scattering under different external forces

系,其影响散射强度相对较小,如表 2 所示。因此,针对 ADS 产品设计的 Δnd 固定时,可以通过选用 Δn 相对较小, K 相对较大的液晶,同时提高液晶盒厚 d ,保证 Δnd 一定,可以有效改善 L 。漏光敏感性。

4.3 PS 对 L 。漏光敏感性的影响

目前 TFT-LCD 一般通过柱状隔垫物(Photo Spacer,PS)来维持 TFT 基板与 CF 基板之间的液晶盒厚。根据光弹性理论,在玻璃厚度一定的条件,漏光量与玻璃的变形量成正比,而玻璃的变形量与单位面积的 PS 的支撑密度有关,支撑密度越大,相同的应力下,玻璃的变形量越小。由此判断可通过增大 PS 的支撑密度有利于 L 。漏光敏感性。

实验通过增加 TFT-LCD 单位面积的 PS 数量或增大 PS 顶部支撑尺寸来提高单位面积的 PS 支撑密度,制备不同 PS 支撑密度(单位 $\mu\text{m}^2/\text{mm}^2$)的 55 ADS 产品,其它参数均相同,如表 3 所示,然后测试漏光敏感性。

表 3 55 ADS 不同 PS 密度(单位: $\mu\text{m}^2/\text{mm}^2$) 产品参数
Tab.3 55 ADS products parameters of different PS density ($\mu\text{m}^2/\text{mm}^2$)

参数	PS 接触密度 2 364	PS 接触密度 3 081	PS 接触密度 3 168
LC	5 239	5 239	5 239
n_e	1.611	1.611	1.611
n_o	1.49	1.49	1.49
$\Delta n = n_e - n_o$	0.121	0.121	0.121
K_{ave}	11.2	11.2	11.2
$d/\mu\text{m}$	3.04	3.04	3.04
Δnd	368	368	368
S_p	0.038	0.038	0.038

图 12 为不同 PS 支撑密度的液晶盒在在 L 。状态受到外力作用时漏光亮度变化,图 13 为漏光区域长短轴的大小,在 L 。状态下,较高 PS 支撑密度的 TFT-LCD 在受到外力按压时,漏光亮度变化值较小,漏光区域较小,如外力 30N 时,PS 密度 $3\ 168\ \mu\text{m}^2/\text{mm}^2$ 的 L 。亮度($0.9\ \text{cd}/\text{m}^2$)相比 PS 密度 $2\ 364\ \mu\text{m}^2/\text{mm}^2$ 的 L 。亮度($1.15\ \text{cd}/\text{m}^2$)下降了 22%,漏光的长轴和短轴长度分别下降了 37%和 56%。图 14 和图 15 为漏光的色坐标 x 和 y 的变

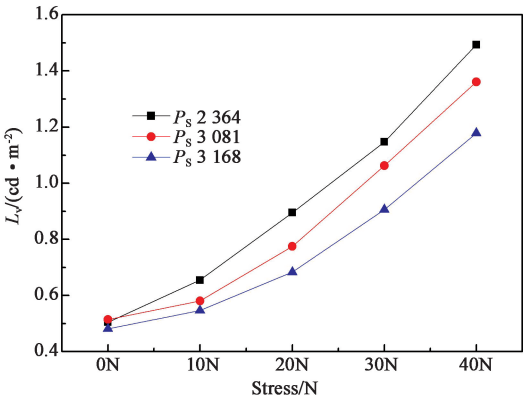


图 12 55 ADS 不同 PS 支撑密度产品不同外力时亮度变化

Fig.12 Brightness variation of 55 ADS products with different PS contact density under different external forces

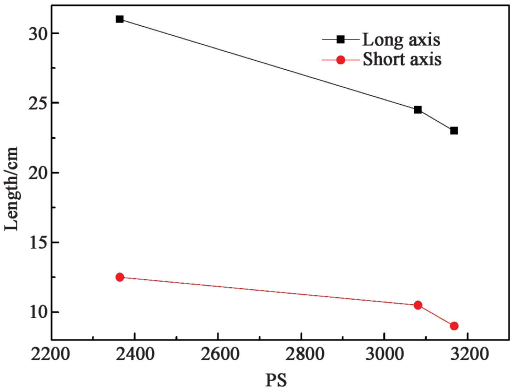


图 13 55 ADS 不同 PS 支撑密度产品 30 N 外力时漏光范围

Fig.13 Leakage range of 55 ADS products with different PS contact density under 30 N external forces

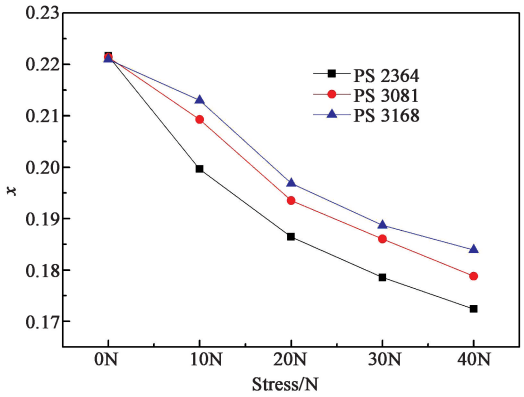


图 14 55 ADS 不同 PS 密度产品不同外力色坐标 x 变化

Fig.14 Color coordinate x variation of 55 ADS products with differentPS density under different external forces

化,较高 PS 支撑密度的 TFT-LCD 在受到外力按压时,色坐标的变化相对较小,敏感性相对较好。

因此,在一定范围内,尽可能增加 PS 数量或增大 PS 顶部支撑尺寸来提高单位面积的 PS 支撑密度有利于改善 L 。漏光敏感性。

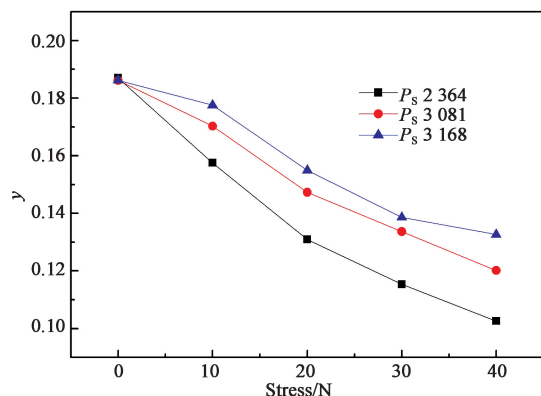


图 15 55 ADS 不同 PS 密度产品不同外力色坐标 y 变化

Fig.15 Color coordinate y variation of 55 ADS products with different PS density under different external forces

5 结 论

ADS 模式具有广视角,高透过率和高对比等优点,其应用已越来越广。但是 ADS 模式产品一直存在按压漏光敏感性问题,研究发现与玻璃、LC 和 PS 3 方面均有相关性,提出相应的改善措施。

通过玻璃减薄,有利于漏光敏感性,如 30 N 时 0.5 T 玻璃的 L 。亮度相比 0.7 T L 。亮度下降了 33%。

降低液晶 Δnd 可以改善按压发黄;减小 Δn , 增加 K 达到减少 LC 散射,有利于漏光敏感性,如外力 30 N 时,散射值 0.027 的 L 。亮度相比散射值 0.038 的 L 。亮度下降了 28%。

增加 PS 的支撑密度有利于敏感性,如外力 30 N 时,PS 接触密度 $3\ 168\ \mu\text{m}^2/\text{mm}^2$ 的 L 。亮度相比 PS 接触密度 $2\ 364\ \mu\text{m}^2/\text{mm}^2$ 的 L 。亮度下降了 22%。

参 考 文 献:

- [1] ONO K, IMAJO Y, MORI I, *et al.* New IPS technology suitable for LCD-TVs [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2005, 36(1): 1848-1851.
- [2] LEE S H, LEE S L, KIM H Y. Electro-optic characteristics and switching principle of a nematic liquid crystal cell controlled by fringe-field switching [J]. *Applied Physics Letters*, 1998, 73(20): 2881.
- [3] LEE S H, LEE S M, KIM H Y, *et al.* Ultra-FFS TFT-LCD with super image quality and fast response time [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2001, 32(1): 484-487.
- [4] LEE Y B, LIAO C T, CHAO A, *et al.* Optimize edge disclination of IPS-pro mode TFT-LCDs [C]// Proc of IDW 2006, 6: 627-630.
- [5] LEE Y B, PARK K H, LEE S K. Comparison of the cell process margin at each LC modes [C]// Proc of IDW 2010, 10: 143-146.
- [6] YANG Y F, KIMAN K, QIN G K, *et al.* Simulation and experimental study on light leakage in ADS mode LCDs [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2014, 45(1): 1251-1254.
- [7] YOU J, JIA Q, YANG Y F, *et al.* Improvement of dark state light leakage in ADS mode LCDs [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2015, 46(1): 1544-1547.

作者简介:冯伟(1987—),男,安徽绩溪人,硕士研究生,2012 年于北京科技大学获得硕士学位,主要从事产品不良分析及推动改善。E-mail: fengw@boe.com.cn.