

基底涂层对PS弹性回复率的影响

邹虎, 张浩, 黄想, 尹海斌

引用本文:

邹虎, 张浩, 黄想, 等. 基底涂层对PS弹性回复率的影响[J]. 液晶与显示, 2020, 35(12): 1240–1247.

ZOU Hu, ZHANG Hao, HUANG Xiang, et al. Influence of substrate films for photo spacer elastic recovery rate[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(12): 1240–1247.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203512.1240>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

磁控溅射法制备的 MoO_x 薄膜材料特性

Properties of MoO_x thin films prepared by magnetron sputtering

液晶与显示. 2020, 35(3): 211–218 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203503.0211>

半导体量子棒的光控取向技术进展

Progress in photo-induced semiconductor quantum rods alignment

液晶与显示. 2020, 35(5): 409–421 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203505.0409>

用于AlGaIn基DUV LED封装的高反射镀铝DPC陶瓷基板

High-reflection Al-plated DPC ceramic substrate for AlGaIn-based DUV LED packaging

液晶与显示. 2020, 35(10): 991–999 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203510.0991>

TFT-LCD TN曲面显示器色不均现象的研究

Prevention of uneven color for TFT-LCD TN curve panel

液晶与显示. 2020, 35(2): 128–135 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203502.0128>

薄膜晶体管液晶显示器的点对点传输协议

Point-to-point interface protocol for thin film transistor-liquid crystal display

液晶与显示. 2020, 35(4): 334–340 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203504.0334>

文章编号:1007-2780(2020)12-1240-08

基底涂层对 PS 弹性回复率的影响

邹 虎*, 张 浩, 黄 想, 尹海斌

(武汉京东方光电科技有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘要:为进一步提升液晶显示产品盒厚的稳定性,本文研究了 TFT-LCD 中柱状隔垫物(Photo Spacer, PS)弹性回复率(ER)与基底膜层间的关系。首先制作不同基底膜层的 PS 样品,然后利用 SNU 3D 显微镜表征 PS 的大小及高度,用扫描电镜(SEM)观察基底膜层的厚度,最后用动态超显微硬度计表征 PS。实验结果表明,PS 在空白玻璃(Bare Glass)上的 ER 比正常基底膜层高 3.9%(200 mN)。平坦层(Over Coat)维氏硬度越高时,PS ER 越高,且随着载入压力的增大,维氏硬度差异所导致的 PS ER 差异越大,当载入压力为 500 mN 时差异达到 6.3%。彩色光阻(Color Resist)膜厚由 2.2 μm 变厚到 2.5 μm 时,PS ER 降低,载入压力为 100 mN 时,A、B 材料 PS ER 分别降低 3.7%、4.9%。另外对 PS 在基底涂层下的疲劳性进行了研究,结果表明随着压入次数增加,PS ER 增加,塑性形变比例减小,25 次后逐渐保持平稳。

关键词:柱状隔垫物;弹性回复率;平坦层;彩色光阻层

中图分类号:TN389 **文献标识码:**A **doi:**10.37188/YJYXS20203512.1240

Influence of substrate films for photo spacer elastic recovery rate

ZOU Hu*, ZHANG Hao, HUANG Xiang, YIN Hai-bing

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

Abstract: In order to improve cell gap stability of crystal display products, the relationship between the elastic recovery rate (ER) of photo spacer (PS) and the substrate films in thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) was studied in this work. Firstly, PS samples with different substrate films were obtained by photolithograph process. Then, the SNU 3D microscope was utilized to characterize the size and height of PS samples, and the thicknesses of substrate films were measured by SEM. The ER was measured by dynamic ultra micro hardness tester (DUH) at last. Test results show that the ER of PS on bare glass is 3.9% higher than on normal substrate films when the loading force is 200 mN. While the Vickers hardness of over coat (OC) film rises, the ER of PS enhances obviously especially with higher loading force. The discrepancy of material A and B increases to 6.3% with 500 mN loading force. It is also found that the ER of PS decreases with the thickness of the substrate film of color resist. When the color resists thickness changes from 2.2 μm to 2.5 μm , the ER of PS on A and B decreases from 3.7% to 4.9%. In addition, the fatigue properties of PS on its base coating films are also studied. The results show that the elastic recovery rate of PS increases with the proportion of

收稿日期:2020-06-10;修订日期:2020-08-18.

* 通信联系人, E-mail: zouhu@boe.com.cn

plastic deformation decreasing, and keeps steadily after 25 times as the number of press-in increases.

Key words: photo spacer; elastic recovery rate; over coat; color resist

1 引 言

近年来国内薄膜晶体管液晶显示器(TFT-LCD)行业发展迅速,目前已被广泛地应用于各类电子产品及智能家居显示等领域中。随着行业的迅猛发展,用户对画面品质的要求也不断提高^[1-6]。为进一步提升产品的画面品质特性,需要更加严格的工艺要求。在 TFT-LCD 的生产过程中,液晶盒厚通常由隔垫物(Spacer)和液晶(Liquid Crystal,LC)来维持。高 ER 的隔垫物可以提升产品的画面品质,改善黑斑(Gap)、按压(Touch)Mura 等不良,因此近年对于隔垫物的研究也较多^[7-10]。程石^[11]等人报导了隔垫物密度与冲压(Push)Mura 的关系,他们的研究阐明,高的 PS 密度可提升产品的抗压能力,从而改善 Mura。通过增加隔垫物密度的方式进行改善会牺牲产品的透过率,而通过改善隔垫物弹性回复率的方式则可保证透过率不变。于涛^[12]等人从 PS 的柱直径及测量时的载入压力>Loading Force)等方面对 PS 的 ER 进行了一系列研究。结果表明,柱直径与 PS 的 ER 呈正比,载入压力与 PS ER 呈反比。目前大多数对于 PS ER 的研究往往聚焦在 PS 本身的尺寸及材料特性上,很少有关于 PS 基底对 ER 影响的研究。PS 基底通常为彩膜(Color Filter,CF)侧的平坦层(Over Coat,OC)、彩色光阻层(Color Resist)、黑色矩阵层(Black Matrix,BM)^[13-18]。基底材料一般为高分子材料(某些产品 BM 材料为金属),其硬度往往不及金属及玻璃,因此可以以 PS 基底作为切入点,分析基底层对 PS ER 的影响。

本文首先研究了 PS 规格对 ER 的影响,然后选取两种由不同厂家提供的平坦层材料 A 和 B,测量不同负载下相同规格的 PS ER。同时还探究了相同 RGB 材料在不同膜厚时 PS ER。通过对比基底材料在有差异情况下 PS ER 的变化趋势,研究 PS 基底层与 PS ER 间的关系,同时也对在基底涂层下的 PS 疲劳性进行探究,以便为 PS ER 的提升提供新的方向及可能。

2 实验与表征

2.1 制样

本实验在 TFT-LCD G10.5 线上进行。实验采用的玻璃尺寸为 3 370 mm×2 940 mm×0.5 mm,工艺过程如图 1 所示。通过对 PS 的曝光条件进行优化,并对前制程特性值进行调整,得到了不同状态的 PS。

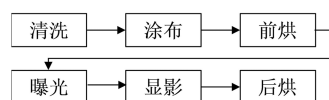


图 1 PS 制作工艺流程图

Fig.1 Flow chart of PS process

2.2 测试设备

实验使用的测试仪器主要有 SNU 3D 显微镜(SIS-2000, SNU Precision)、扫描电镜(SEM Regulus8100, HITACHI)、动态超显微硬度计(DUH-211S, 日本岛津公司)。

2.3 测试方法

2.3.1 SEM 表征

图 2(a)为彩膜基板 PS 底部膜层结构断面示意图,图 2(b)为膜层示意图。OC 作为平坦层与

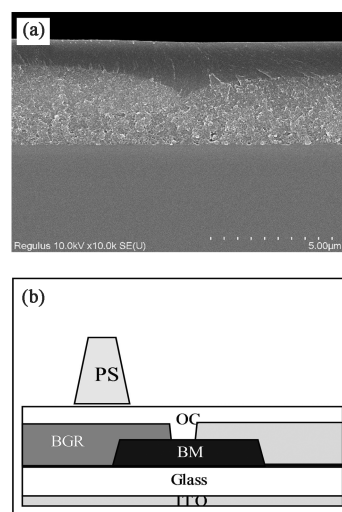


图 2 (a) 膜层结构断面图;(b) 膜层示意图。

Fig.2 (a) Profile of film structure; (b) Schematic diagram of film layer.

PS 接触, OC 层下部为 BGR 膜层材料, PS 柱位置在红膜层上。OC 膜厚约为 $1.3 \mu\text{m}$, BGR 膜厚约为 $2.2 \mu\text{m}$ 。膜层形貌良好。

2.3.2 PS 形貌表征

图 3(a) 为 PS 3D 示意图, 图(b) 为 PS 显微示意图, 可看出曝光后主 PS 呈圆形, 形貌良好, 主 PS 高度(MPSH) 为 $\sim 3.64 \mu\text{m}$, 主 PS 上层尺寸为 $18.5 \mu\text{m} \times 19 \mu\text{m}$ 。

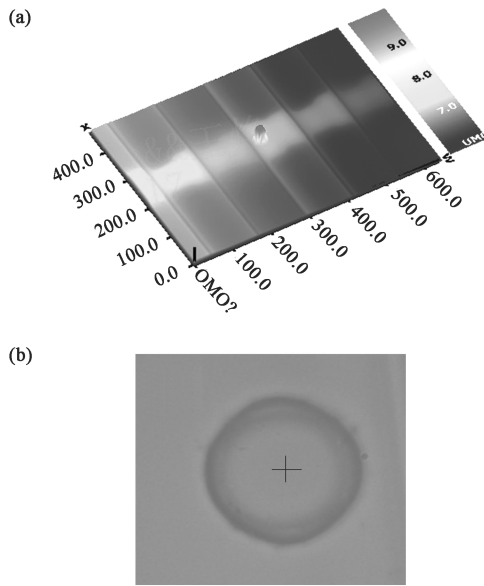


图 3 (a) PS 3D 示意图; (b) PS 显微示意图。

Fig.3 (a) Three-dimensional schematic diagram of PS; (b) Top view of PS.

2.3.3 维氏硬度表征

维氏硬度可以表征材料的力学性能。其测量方式如图 4 所示, 维氏硬度(HV)测量公式如式(1)所示。

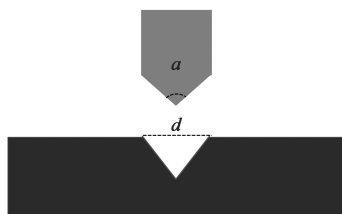


图 4 维氏硬度测试模拟图

Fig.4 Simulation diagram of Vickers hardness test

$$HV = 0.102 \frac{F}{S} = 0.102 \frac{2F \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2}, \quad (1)$$

其中: F 为负荷, S 为压痕表面积(mm^2), α 为压

头相对面夹角, 136° , d 为平均压痕对角线长度(mm)。

本实验选用材料组份不同的 A、B 两种 OC 材料作为 PS 的基底涂层, 其维氏硬度测量结果为 $A=86.5, B=77.7$ 。

3 结果与讨论

3.1 PS 形貌对 ER 影响分析

同种 PS 材料在被制作成样品时, 其 ER 受样品形貌的影响, 如高度、上直径和下直径尺寸等。因此在研究底部涂层材料对 PS ER 影响之前, 首先对不同尺寸、高度的 PS 进行测试, 了解其变化规律。

3.1.1 PS 尺寸

在负载力为 100 mN , 负载力加速速度为 4.4 mN/s 条件下对 $10 \sim 18 \mu\text{m}$ 不同顶部尺寸 PS 进行测试, 结果如图 5 所示。由图可见, 随着 PS 尺寸逐渐增大, PS ER 呈现逐渐上升趋势。 $10 \sim 14 \mu\text{m}$ 时增加明显, PS ER 从 84.8 增加到 90.6 ; $14 \sim 18 \mu\text{m}$ 时增加速度逐渐放缓, PS ER 从 90.6 仅增加到 92.5 。从以上数据可以推测, 随着 PS 尺寸逐渐增大, 在相同负载作用下 PS 所受到压强减小, 导致 PS 形变量较小(从 $10 \sim 18 \mu\text{m}$, PS 最大压力量($H_{\max}$)呈逐步下降趋势), 因此压缩产生的塑性形变量也会减小, PS ER 增大。

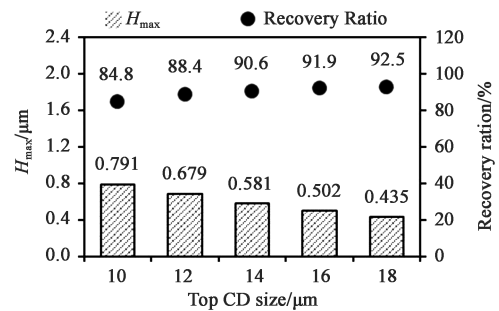


图 5 不同尺寸的 PS ER

Fig.5 Elastic recovery rate of PS with different size

3.1.2 PS 高度

因不同产品对 PS 高度要求不同, 研究 PS 高度对 PS ER 的影响可为产品设计提供帮助。同样在负载力为 100 mN , 负载力加速速度为 4.4 mN/s 条件下对 $3.0 \sim 3.6 \mu\text{m}$ 不同高度 PS 进行测试。如图 6 所示, 随着高度增加, PS ER 呈现逐

渐下降趋势,但整体变化较小,约为 $\pm 1\%$, $H_{\max}$ 则呈现逐渐上升趋势。这可能是因为 PS 高度增加,在相同负载下,PS 压入量增大,所以塑性形变量占比增加,从而降低 PS ER。

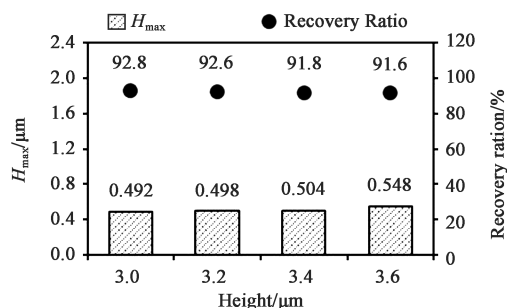


图 6 不同高度的 PS ER

Fig.6 Elastic recovery rate of PS from different height

3.2 PS 底部涂层对 PS ER 的影响

为了研究彩膜基板中底部涂层对 PS ER 的影响,我们首先将 PS 分别制作在空白玻璃以及有底部涂层的正常产品上面进行对比,了解底部涂层对 PS ER 的影响程度。随后针对 OC 及 BGR 涂层进行分析。以下测试均采用 MPSH 为 $\sim 3.64\ \mu\text{m}$,顶部尺寸为 $18.5\ \mu\text{m} \times 19\ \mu\text{m}$ 的样品。

3.2.1 PS 在空白玻璃基板和正常彩膜基板上的 ER 分析

本实验在同样条件下,分别将相同规格的 PS 制作在空白玻璃基板和正常彩膜基板上,使用 50, 100, 200 mN 的负载力来测试 PS ER。结果如图 7 所示,从图中可以看出,在 3 种不同的负载力作用下,相对于正常彩膜基板,空白玻璃基板上的 PS 均表现出更为出色的 ER,且负载力越大,两者差距愈加明显,在 200 mN 下最大相差

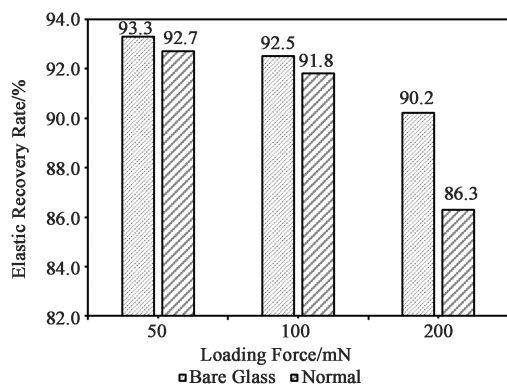


图 7 不同基板上的 PS ER

Fig.7 Elastic recovery rate of PS from different glass

3.9%。说明彩膜基板中的黑矩阵、RGB 和平坦层等底部涂层对 PS 的弹性恢复率存在影响。

3.2.2 OC 对 PS ER 的影响

TFT-LCD 的彩膜侧为了避免因亚像素段差和角段差引起液晶显示面板出现漏光和透过率偏低等问题,在 RGB 色阻层之上,PS 层之下,引入一层平坦化层,即 OC。为了进一步研究 PS 底部涂层对 PS ER 的影响,本实验针对彩膜基板的平坦层进行了研究。根据 PS ER 测试原理,本实验选用两种不同的 OC 材料 A 和 B,分别在 50, 100, 200, 300, 400, 500 mN 条件下,测试在 $2.2\ \mu\text{m}$ 和 $2.5\ \mu\text{m}$ RGB 膜厚下两种不同 OC 材料的

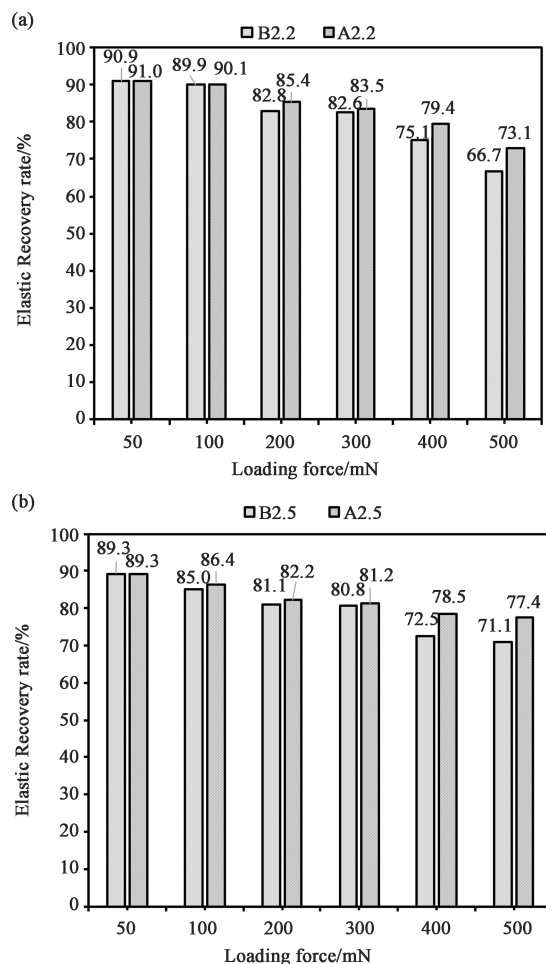


图 8 不同 OC 材料下的 PS ER。(a)RGB 膜厚: $2.2\ \mu\text{m}$;维氏硬度: $A>B$;(b)RGB 膜厚: $2.5\ \mu\text{m}$;维氏硬度: $A>B$ 。

Fig. 8 Elastic recovery rate at different OC materials. (a) RGB thickness: $2.2\ \mu\text{m}$; Vickers hardness: $A>B$; (b) RGB thickness: $2.5\ \mu\text{m}$; Vickers hardness: $A>B$.

PS ER, 分析其材料特性对 PS ER 的影响情况, A 和 B 维氏硬度分别为 86.5 和 77.7。结果如图 8(a)、(b) 所示, 从图中可以看出, 平坦层为 A 材料的彩膜基板, 表现出更为出色的 PS ER, 且随着负载力的逐渐加大, 两者区别愈加明显。由图 8(a) 可见, 在采用 2.2 μm RGB 膜厚时, 在 400 mN 负载作用下差距达到 4.3%, 在 500 mN 下差距达到 6.4%; 由图 8(b) 可见, 在采用 2.5 μm RGB 膜厚时, 在 400 mN 负载作用下差距达到 6.0%, 在 500 mN 下差距达到 6.3%。说明 OC 的材料特性对 LCD 的 PS ER 影响较大, OC 材料的维氏硬度越大, PS ER 越高。

3.2.3 RGB 对 PS ER 的影响

当 OC 材料相同时, 以 RGB 膜层厚度为变量

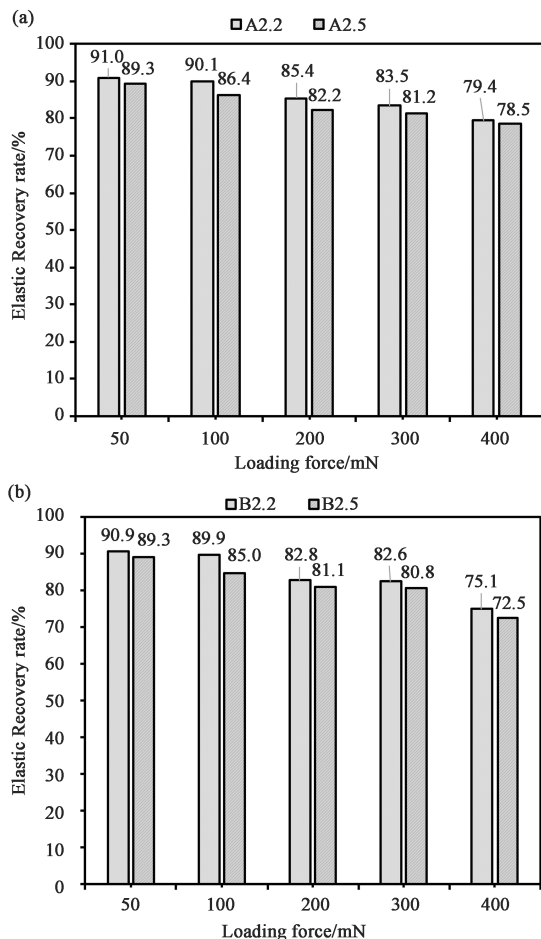


图 9 (a) 不同 RGB 膜厚下 A 材料的 PS ER; (b) 不同 RGB 膜厚下 B 材料的 PS ER。

Fig.9 (a) Elastic recovery rate at RGB of different film thickness (A as OC material); (b) Elastic recovery rate at RGB of different film thickness (B as OC material).

进行分析, 可以判断 RGB 膜厚对 PS ER 的影响, 结果如图 9(a)、(b) 所示。从图中可以看出, 当采用 A 或者 B 为 OC 材料时, 在不同负载条件下 2.5 μm 膜厚 RGB 基板的 PS ER 均低于 2.2 μm RGB 基板, 这可能是因为 RGB 材料自身力学性能不佳, 从而导致 RGB 膜厚越高时, PS ER 越低。

3.3 PS ER 的影响机理分析

通常我们定义 ER 为:

$$ER = \frac{\text{Plastic Deformation}}{\text{Elastic Deformation}} \times 100\% \quad (2)$$

从公式(2)可以看出, 弹性形变与塑性形变的比例越大, ER 越高。当在空白玻璃基板上进行 ER 测试时, 如图 10(a) 所示, 白玻璃基板硬度更高, 基板基本不会发生形变, 所测得 PS ER 只由 PS 自身材料性能决定, 因此测量结果会更高。而对正常彩膜基板上的 PS 进行 ER 测试时, 如图 10(b) 所示, 底部膜层材料力学性能相较于玻璃基板更差, 测试负载力不仅会使 PS 发生形变, 也会使底部膜层发生形变, 底部膜层材料形变中存在塑性形变, 而不能完全回复, 导致 PS ER 降低。因此, 底部涂层的力学性能特征对 PS ER 有一定的影响, 在保证材料工艺特性要求的前提下, 提高底部涂层材料的维氏硬度是改善 PS ER 的有效方法。

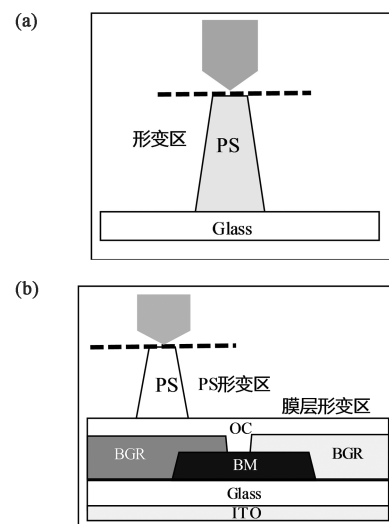


图 10 PS ER 测试机理。(a) 基板为空白玻璃; (b) 基板为彩膜。

Fig.10 Mechanism of elastic recovery rate. (a) On bare glass; (b) On CF.

3.4 PS 的疲劳特性

通常面板在使用中 PS 会受到数次挤压,因此在产品评价过程中研究 PS 疲劳特性也显得至关重要。在负载力为 100~500 mN,负载力加速速度为 4.4 mN/s 测试条件下对样品进行测量,结果如图 11 所示。图中可见,负载力越大,第一次压入发生

的塑型形变量越大,PS ER 越小,100 mN 下为 90.75%,400 mN 下为 67.63%。随压入次数的增加,2~25 次塑性形变量所占比例下降明显, $H_{\max}$ 减小,导致 ER 增大显著。26~45 次塑性形变量保持不变,ER 和 $H_{\max}$ 趋于平坦。

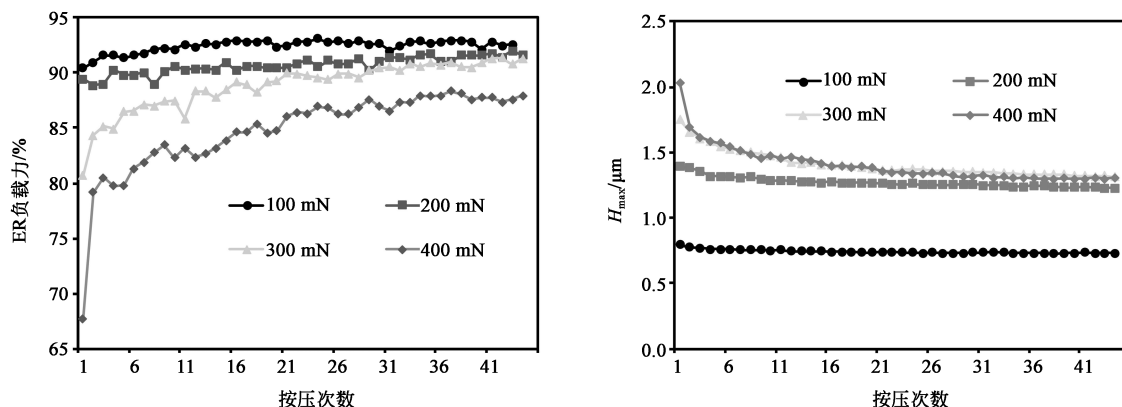


图 11 不同负载下 1~45 次的 PS ER 及最大压入量

Fig.11 45 consecutive tests of PS elastic recovery rate and $H_{\max}$ under different loading force

4 结 论

本实验分析了基底膜层对 PS ER 的影响,得到以下结果:(1)PS Top Size 对 PS ER 影响显著,并且随着尺寸增大,PS ER 逐渐增大,在 10~14 μm 时增加明显,提高了 5.8%。14~18 μm 后增加速度逐渐放缓,仅提高 1.9%。PS Height 对 PS ER 影响较小。(2)通过对比空白玻璃及正常玻璃的 PS ER 结果发现,空白玻璃上的 PS ER 更优,两者在 200 mN 负载力时最大相差 3.9%。(3)对比不同 OC 材料的 PS ER 发现,OC 材料的维氏硬度越大,PS ER 越优异。在采用 2.2 μm RGB 膜厚时,

400 mN 负载作用下 PS ER 差距达到 4.3%,在 500 mN 时差距达到 6.4%。(4)对比不同膜厚 RGB 材料上的 PS ER,发现 RGB 材料的力学性能同样对 PS ER 有影响,且 RGB 材料膜厚越大,PS ER 越低。(5)PS 疲劳性研究结果表明,随着压入次数增加,PS ER 增加,塑性形变比例减小,弹性形变比例增大。2~25 次时,随压入次数增加塑性形变量下降,PS ER 增加明显;25~45 时,次塑性形变量保持不变,ER 和 $H_{\max}$ 趋于平坦。

通过本文分析可以看出,TFT-LCD 彩膜侧 PS 的底部涂层材料维氏硬度等力学特性对 PS ER 影响较大,也对后续的 PS 底部涂层材料选择和优化提供了参考意见。

参 考 文 献:

- [1] 李继军,聂晓梦,甄威,等.显示技术比较及新进展[J].液晶与显示,2018,33(1):74-84.
LI J J, NIE X M, ZHEN W, et al. New developments and comparisons in display technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(1): 74-84. (in Chinese)
- [2] 叶芸,喻金辉,林淑颜,等.量子点背光技术的研究进展[J].中国光学,2020,13(1):14-27.
YE Y, YU J H, LIN S Y, et al. Progress of quantum dot backlight technology [J]. *Chinese Optics*, 2020, 13(1): 14-27. (in Chinese)
- [3] 李继军,聂晓梦,李根生,等.平板显示技术比较及研究进展[J].中国光学,2018,11(5):695-710.
LI J J, NIE X M, LI G S, et al. Comparison and research progress of flat panel display technology [J]. *Chinese*

- Optics*, 2018, 11(5): 695-710. (in Chinese)
- [4] 刘莎,王丹,杨照坤,等.TFT-LCD 技术发展趋势浅析[J].液晶与显示,2018,33(6):457-463.
LIU S, WANG D, YANG Z K, *et al.* Key technology trends analysis of TFT-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(6): 457-463. (in Chinese)
- [5] 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)
- [6] 罗杰超,郭俊达,米凤文,等.基于变形目镜和 OLED 的全景周视成像与显示技术[J].中国光学,2020,13(4):752-759.
LUO J C, GUO J D, MI F W, *et al.* Panoramic peripheral vision imaging and display technology based on a deformation eyepiece and OLED [J]. *Chinese Optics*, 2020, 13(4): 752-759. (in Chinese)
- [7] 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)
- [8] 陈彩琴.基于 HTM 技术的 PS 优化设计研究[D].广州:华南理工大学,2017.
CHEN C Q. Optimization design of photo spacer based on HTM technology [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017. (in Chinese)
- [9] 封宾,林鸿涛,王章涛,等.液晶面板 Black-Gap 不良的分析研究[C]//2012 中国平板显示学术会议论文集.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)
- [10] 熊奇,毕芳,王耀杰,等.TFT-LCD 黑 Gap 分析及改善研究[J].液晶与显示,2018,33(7):568-574.
XIONG Q, BI F, WANG Y J, *et al.* Research and improvement of TFT-LCD black gap [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(7): 568-574. (in Chinese)
- [11] 程石,王涛,张敏,等.TFT-LCD 中隔垫物密度与 Push Mura 和低温气泡的关系[J].液晶与显示,2011,26(5):604-607.
CHENG S, WANG T, ZHANG M, *et al.* Relationship of spacer density with Push Mura and cold bubble in TFT-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(5): 604-607. (in Chinese)
- [12] 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)
- [13] 邱永亮,李荣玉,顾筠筠.TFT-LCD 制造过程中的盒厚控制工艺研究[J].现代显示,2008(6):33-35,58.
QIU Y L, LI R Y, GU J J. LCDs gap control in TFT-LCD production [J]. *Advanced Display*, 2008(6): 33-35, 58. (in Chinese)
- [14] 张翼鹤,曹武,李轩,等.色阻堆叠在阵列基板上形成液晶屏隔垫物的研究[J].液晶与显示,2019,34(2):130-135.
ZHANG Y H, CAO W, LI X, *et al.* Forming photo spacer by color filter stacking on array substrate in LCD technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2019, 34(2): 130-135. (in Chinese)
- [15] 吴诗聪.Mini-LED:助力下一轮 LCD 技术发展[J].光电子技术,2018,38(3):145-148.
WU S C. Mini-LED: next round of LCD evolution [J]. *Optoelectronic Technology*, 2018, 38(3): 145-148. (in Chinese)
- [16] LUR B, ZHU X Y, WU S T, *et al.* Ultrawide-view liquid crystal displays [J]. *Journal of Display Technology*, 2005, 1(1): 3-14.
- [17] CHEN H W, LEE J H, LIN B Y, *et al.* Liquid crystal display and organic light-emitting diode display: present

status and future perspectives [J]. *Light: Science & Applications*, 2018, 7(3): 17168.

- [18] DENG Z, ZHENG B Y, ZHENG J P, *et al.* High dynamic range incell LCD with excellent performance [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2018, 49(1): 996-998.

作者简介:



邹 虎(1994—),男,湖北云梦人,硕士,2018 年于中南大学获得硕士学位,主要从事液晶显示面板方面的研究。E-mail: zouhu@boe.com.cn