

文章编号:1007-2780(2015)03-0416-05

偏光干涉法检测 LCD 间隔子的均匀性

范应娟*, 袁桃利, 张麦丽

(陕西科技大学 理学院, 陕西 西安 710021)

摘要:由于液晶显示器中间隔子的均匀性影响着对比度、色调变化等性能,因此,本文对液晶显示屏间隔子均匀性的检测方法进行了研究。首先分别利用干喷和湿喷法制备了对应的液晶盒,然后采用偏光显微镜研究了所制备液晶显示屏间隔子的分布特性。研究发现,正常情况下,液晶盒内间隔子最小距离接近 $20\ \mu\text{m}$,最大距离超过 $100\ \mu\text{m}$;间隔子分布不良的主要缺陷为间隔子团聚;在实验室条件下,干喷法间隔子团聚比较严重,湿喷法基本上无此现象。所以,利用偏光干涉法,通过调节偏光显微镜上下偏光片的相对角度,可以在不破坏液晶显示屏的前提下直接观察到其内部的间隔子及间隔子的分布情况。文中还分析了利用偏光干涉检验间隔子均匀性的原理。

关键词:间隔子;均匀性;偏光干涉;液晶盒

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20153003.0416

Testing uniformity of spacers in LCD with the way of polarization interference

FAN Ying-juan*, YUAN Tao-li, ZHANG Mai-li

(College of Science, Shanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: In liquid crystal display, the uniformity of spacers influences contrast degree and color tone change, et al. Thus, the test method of uniformity of spacers in LCD is researched in this paper. Firstly, the liquid crystal cells are made by using dry spray method and wet spray method, then the distribution character of spacers is studied by using the polarizing microscope. It is found that, in normal case, the least distance of spacers in LCD is close to $20\ \mu\text{m}$ and the largest distance exceeds $100\ \mu\text{m}$. The cluster of spacers is the main defect which leads to badly distribute. Under laboratory conditions, the cluster of spacers is more serious by using dry spray method but this phenomenon doesn't exist basically by using wet spray method. Therefore, by using the way of polarization interference and through adjusting the relative angle of up and down polarized plates of the polarizing microscope, the spacers and distribution of spacers can be directly observed without destroying the LCD. The principle of the spacers uniformity tested by using polarization interference is also analyzed.

Key words: spacer; uniformity; polarization interference; liquid crystal cell

收稿日期:2014-09-09;修订日期:2014-10-26.

基金项目:国家自然科学基金(No. 61076066)

* 通信联系人, E-mail: ci_ming@163.com

1 引 言

近年来,液晶显示器因其低电压、低辐射、低功耗以及轻、薄、美观等优点,已广泛应用于各种信息、通讯和消费性电子产品中^[1]。液晶显示器的显示模式有很多种,例如 TN^[2]、STN^[3]、IPS^[4]、MVA^[5]等模式。无论哪种显示模式,显示屏中都含有间隔子。间隔子一般分为两类:玻璃间隔子和塑料间隔子。玻璃间隔子主要用于掺在封框胶中来控制两块基板之间的间隙,以保持最佳液晶层厚度。张方辉等^[6]对玻璃间隔子的应用进行了探讨,指出玻璃间隔子对液晶盒的厚度有着重要影响。另一类塑料间隔子均匀分散在液晶屏内,决定液晶盒厚度的均匀性^[7]。液晶显示器的反应速度、对比度、视角等都与液晶层的厚度有密切关系。特别是对于特定模式的液晶屏,如果不按照液晶材料的光学特性严格设定液晶层的厚度,就不能获得高对比度及优良的显示效果,所以在设计液晶盒时要适当选择间隔子的种类及大小,使液晶层的厚度及其均匀性达到设计要求。此外,随着对液晶显示器显示容量、显示品质的要求越来越高,间隔子的功能不仅是保持间隙,人们还在努力研究用间隔子来解决液晶屏的性能问题。程石等^[8]研究了液晶屏内塑料间隔子的分布情况与低温空洞的关系,解决温度变化引起的色调变化以及间隔子的移动或低温时发生的空洞等问题。张麦丽等^[9]指出,为获得大面积均匀厚度的液晶层,就要在整个液晶盒内均匀分散间隔子。总之,塑料间隔子分布的均匀性对液晶盒的性能有重要影响。为了检测间隔子在液晶屏中的分布均匀性,范志新等^[10]采用扫描电镜观察液晶屏中间隔子的分布情况,但这种方法不仅要破坏液晶盒,而且非常麻烦。总体来看,国内外对间隔子均匀性检测的相关报道还比较少。本文提出了一种在不破坏液晶盒的前提下,利用偏光干涉法检测液晶盒内塑料间隔子均匀性的方法,为实际生产提供了一种简单快捷的检测手段。

2 液晶盒偏光干涉原理

众所周知,液晶盒包括上下玻璃基板、ITO 导电层、取向层、封框胶、液晶层、上下偏光片,

在液晶层内还含有塑料间格子,封框胶中有玻璃间隔子。封框胶与上下玻璃基板共同围成一个密闭空间,液晶薄层就被密封在该空间内。在两块玻璃基板的外面贴有偏光片,两偏光片的取向成一定夹角。一般来讲,玻璃基板、ITO 导电层、取向层等均为各向同性材料,处于扭曲排列的液晶层既有双折射特征,又有旋光作用;处于平行排列的液晶层仅有双折射效应,与波片类似。为了简单起见,下面以 90° 扭曲排列的液晶层为例探讨一下液晶盒偏光干涉的基本特性。

图 1 为液晶盒偏光干涉原理图。设 L_1 和 L_2 为上玻璃基板和下玻璃基板锚定的液晶分子的指向方向,两者夹角为 90°, P_1 和 P_2 分别为起偏片和检偏片。在未加驱动电压的情况下,来自光源的自然光经过起偏片后只剩下平行于起偏片透光轴的线偏振光,当线偏振光与第一块玻璃基板上的液晶分子指向轴有一定夹角 β 时,就会发生偏光干涉,此时,偏振光分为 o 光和 e 光,到达输出面时,其 o 光和 e 光旋转了 90°,变成了 o' 光和 e' 光,此时液晶分子的指向矢与检偏片夹角为 γ 。

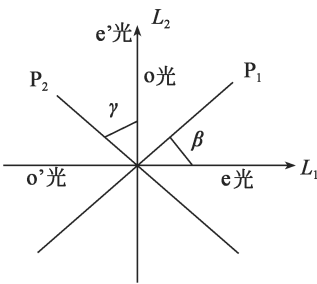


图 1 液晶盒偏光干涉原理图
Fig. 1 Image of the principle of the polarization interference for liquid crystal cell

设液晶盒的折射率各向异性为 Δn 、盒厚为 d 。光通过液晶盒产生的非常光和寻常光之间的光程差 R 以及相位差 δ 可分别表示为:

$$R = \Delta n \cdot d , \tag{1}$$

$$\delta = 2\pi R / \lambda = 2\pi \Delta n \cdot d / \lambda . \tag{2}$$

垂直入射则液晶盒的光的透射强度公式可推导为:

$$A_o = A_1 \sin \beta \quad A_e = A_1 \cos \beta , \tag{3}$$

$$\begin{cases} A_{2o} = A_o \sin \gamma = A_1 \sin \beta \sin \gamma \\ A_{2e} = A_e \cos \gamma = A_1 \cos \beta \cos \gamma \end{cases} , \tag{4}$$

$$I = A^2 = A_{2o}^2 + A_{2e}^2 + 2A_{2o}A_{2e}\cos \delta =$$
$$(A_{2o} + A_{2e})^2 - 4A_{2o}A_{2e}\sin^2 \frac{\delta}{2} =$$
$$A_1^2[\cos^2(\beta - \gamma) - \sin 2\beta \sin 2\gamma \sin^2 \frac{\delta}{2}]. \quad (5)$$

因此,如果白光照射液晶盒时,在偏光片一定夹角的情况下,液晶盒对各色光的透射光强不同,从偏光显微镜下看,液晶盒呈现为某一颜色的复色光。

3 实 验

先用超声清洗机清洗玻璃基片,然后用镊子取出在烘箱里烘 10 min,温度设为 50 ℃,让玻璃基片上的酒精完全挥发掉。然后用万用表测出两片玻璃基片导电的一面,并在玻璃基片导电的一面涂上取向剂,用液晶基片悬涂机悬涂 120 s,时间太短均匀性不好,时间太长,膜太薄;转速为 2 500 r/min,转速太高或太低都不能使膜旋涂均匀。然后在烘箱里烘干预热 30 min,温度设为 80 ℃,如此设置时间和温度使膜的附着力达到一个最佳的值;然后再烘烤 2 h,温度为 200 ℃,此时,温度太高,膜太硬,摩擦取向的时候不容易刷成沟槽,温度太低达不到固化的效果。待烘烤完毕,取出,将涂取向剂的一面朝上放在液晶配向摩擦机的平台上,摩擦一下,转速设为 2 500 r/min,转速太小,摩擦的沟槽不太深,转速太大,摩擦过头,影响液晶盒制作效果。然后均匀喷洒间隔子,将两个玻璃基板正交重叠,最后在台式液晶盒光固机上先用胶封住两边,然后灌注液晶,最后封住灌晶口,至此,液晶盒制备完成。然后在偏光显微镜下观察间隔子分布不良的 TN 液晶盒,以及间隔子分布比较优良的 TN 液晶盒、STN 液晶盒和 TFT 液晶盒。

所用设备为:超声清洗机,购于惠州市龙标电器有限公司。液晶配向摩擦机,型号为 ZKY-LCDZBX-MC;液晶基片旋涂机,型号为 ZKY-LCDZBX-XT;台式液晶盒光固机,型号为 ZKY-LCDZBX-GG;立式电热恒温箱,型号为 ZKY-LCDZBX-HW;USB 透射式偏光显微镜,型号为 ZKY-LCDZBX-XW;还有液晶和间隔子均购于成都世纪中科仪器有限公司。

4 结果与讨论

图 2 为显微镜下观察到的间隔子分布不良的 TN 液晶盒。从图 2 中可以看出,间隔子喷洒的不均匀,且有团聚现象,如图 2 中画圈的地方。液晶显示器是通过控制上下基板间的电场,改变液晶材料的排列方式来达到预期的显示效果,而两片基板中的间隔子扮演着控制基板间厚度与均匀性的角色。在 LCD 制作过程中,间隔子材料一般为球状,本实验所做的图 2 液晶盒采用干喷法,分散间隔子在基板上用来控制盒厚。采用这种方法,球形间隔子在气流的作用下随机分布在面板上,容易出现不均匀和团聚现象。间隔子是白色透明的塑料小球、属非晶态物质。在偏光显微镜下,来自于光源的白光透过偏光片后产生线偏光,线偏振光照射在液晶与间隔子上会产生不同的效应。

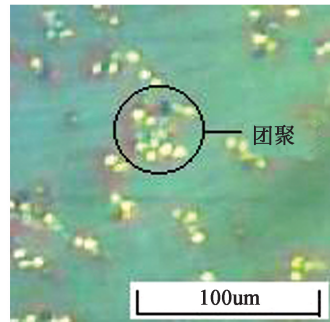


图 2 间隔子分布不良的 TN 液晶盒
Fig. 2 Bad distribution of the spacers of TN liquid crystal cell

线偏光经过间隔子后不会产生光程差,经过偏光显微镜的检偏片后也不发生偏光干涉,只要两块偏振片不互相垂直,就会有光透过(本实验让偏光片成一定夹角);由于间隔子的大小为微米级,如果存在散射,主要为米氏散射,散射的光强与波长没关系,吸收也可以忽略不计,因此,间隔子不会产生彩色。线偏光经过液晶层后产生 o 光和 e 光,二者经过液晶层会产生光程差,经过检偏器后会发生偏光干涉。结果在液晶屏上间隔子出现的区域呈现白色,其余液晶出现的区域其亮度与颜色由偏振光的干涉状态决定。当单色光入射,经过检偏片后,光强的大小由式(5)决定。当白光入射时,产生的干涉色是许多种单色光的复合,是复色光,每一种

单色光的光强由式(5)决定,其中,在一定的偏振片夹角的情况下,有某一种单色光可能干涉相长,又有另一种单色光干涉相消,其余的单色光光强介于两者之间,因此,最后的干涉色会出现某一种颜色的复色光。由以上分析可见在间隔子团聚的区域会出现与控制信号无关的亮点,从而影响液晶显示屏的对比度,影响显示效果。

图 3 是显微镜下观察到的间隔子分布比较优良的 TN 液晶盒。我们从图 2 看到不均匀的和团聚的间隔子的图像,从图 3 可以看到不是非常均匀,但没有团聚现象发生。这可能是由于图 3 液晶盒采用了湿喷法,但还是喷洒得不是非常的均匀。从图 3 中可以看出,液晶盒间隔子的最小距离大约在 20 μm 左右,最大距离超过 100 μm 。这与现在的间隔子的喷洒工艺还不完善有关。由于图 3 的 TN 液晶盒没有彩色滤色膜,透过率高,相应的对比度也高,因此间隔子很清晰。从图 3 还可以看出,液晶盒呈蓝色,这是偏光干涉呈现的复色光。从图 3 中还可以看出,背景颜色还比较均匀,这与间隔子没出现团聚现象,有一定关系。

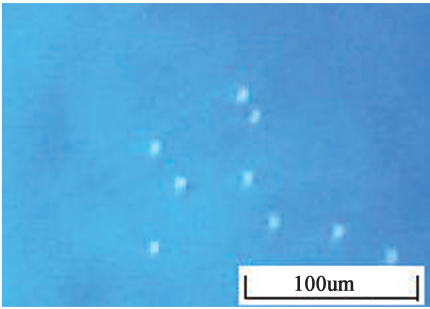


图 3 间隔子分布比较优良的 TN 液晶盒
Fig. 3 Excellent distribution of the spacers of TN liquid crystal cell

图 4 是显微镜下观察到的间隔子分布比较优良的 STN 液晶盒。从图 4 中可以看出,液晶盒玻璃基板上贴了彩色滤色膜,有 3 个像素,红、绿、蓝。在 3 个像素里面,散布着发亮的间隔子,从图中可以看出,间隔子不是非常的均匀,但没有出现团聚现象。图 4 液晶盒同样也是采用了湿喷法。从图中可以看出每个像素里间隔子的最小距离接近 30 μm ,最大的距离为 100 μm 左右。根据前面的式(1)、(2),由于液晶盒产生的相位差只与液晶本身有关,在未加电压的情况下,相位差是一定的,因此,透射光强就只与偏光片的夹角有关。偏

光片不同的夹角,也就是前面式(5)中的 β 和 γ 不一样,就会产生不同的偏振光干涉,也就会显示不同的颜色。如果偏光片夹角调得不好,有可能会产生导致某一种滤色膜里的间隔子看不见或看不清。从图中可以看出,红色滤色膜里的间隔子最亮,对比度最高,而蓝色滤色膜里的间隔子要稍微模糊一点,即对比度最低,可能是因为此时产生的某种干涉色里面,红色虽不一定是干涉相长的,但红色的光强有一定程度地加强,在这 3 种颜色里面是最强的,而此时蓝色虽不至于干涉相消,但光强比绿色还有一定程度地减弱,因此对比度最低。因此,偏光片夹角调到合适的程度,间隔子的对比度达到最佳,3 种滤色膜里面的间隔子都能看清,只是亮度有强有弱。

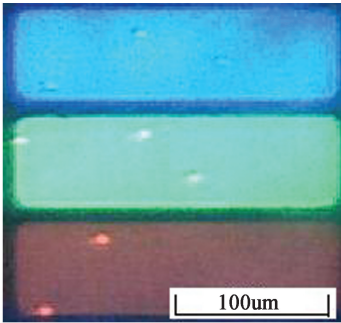


图 4 间隔子分布比较优良的 STN 液晶盒
Fig. 4 Good distribution of the spacers of STN liquid crystal cell

图 5 是显微镜下观察到的间隔子分布比较优良的 TFT 液晶盒。从图 5 中可以看出,它与 STN 最大的不同是带有 TFT 电极,图中突出的小黑块即为 TFT 电极。图中也有红、绿、蓝三像素,且比 STN 中的红、绿、蓝三像素要小。其中发亮的点为

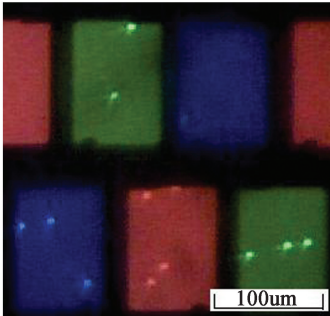


图 5 间隔子分布比较优良的 TFT 液晶盒
Fig. 5 Good distribution of spacers of TFT liquid crystal cell

间隔子。间隔子分布的不是非常的均匀,但没有团聚现象。图 5 液晶盒仍然采用了湿喷法。从图中可以看出,每一个像素里间隔子的最小距离接近 $20\text{ }\mu\text{m}$,最大距离超过 $60\text{ }\mu\text{m}$ 。由于带了 TFT 电极以后,透过率低,整个视场显得比 TN 液晶盒和 STN 液晶盒的视场要暗,起偏片和检偏片调到合适的角度,就能观察到红、绿、蓝三像素里的间隔子发光。从图中还可以看出,绿色像素里的间隔子最亮,对比度最高,而红色像素里间隔子的对比度最低,说明此时产生的干涉色里面,绿色光虽不一定是干涉相长那个色光,但光强却有一定程度地加强,而且是三者当中最强的,而这三者之中红色光减弱程度是最大的,因而光强是最小的,对比度是最低的。当偏光片调到合适的夹角,3 种像素里的间隔子都能比较清晰地看见。

5 小 结

实验室制备了 4 种液晶盒,第一种采用干喷法,后面 3 种采用湿喷法,在偏光显微镜下观察了液晶盒中间隔子喷洒的均匀性。分析了间隔子发亮的原因,给出了这些液晶盒当中,除了那个间隔子分布不良的 TN 液晶盒外,其余的液晶盒间隔子喷洒的最小距离在接近 $20\text{ }\mu\text{m}$,最大距离超过 $100\text{ }\mu\text{m}$ 。由于液晶盒中的间隔子均为无色,如果不采用偏光干涉法,间隔子的均匀与否是无法观察到的。文中还分析了液晶盒偏光干涉的原理,以及分析了 STN 液晶盒和 TFT 液晶盒中间隔子显示的对比度和偏光片夹角的关系。

参 考 文 献:

- [1] 高媛媛,郑远洋,杜渭松,等. 含氟液晶的性能、应用于合成进展[J]. 液晶与显示, 2014, 29(2): 159-171.
Gao A A, Zheng Y Y, Du W S, *et al.* Fluorinated liquid crystal properties, application and synthetic progress [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystal and Displays*, 2014, 29(2): 159-171. (in Chinese)
- [2] Waclawik E R, Ford M J, Hale P S, *et al.* Liquid-crystal displays: fabrication and measurement of a twisted nematic liquid-crystal cell [J]. *Journal of Chemical Education*, 2004, 81(6): 854-858.
- [3] 徐长远. STN-LCD 液晶显示器定向层摩擦工序的静电研究[J]. 现代显示, 2006, 69(10):49-52.
Xu C Y. The electrostatic study in rubbing process of STN-LCD [J]. *Advanced Display*, 2006, 69(10):49-52. (in Chinese)
- [4] 荆涛. IPS 液晶显示模式的研究[D]. 长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2000.
Jin H. Study on the mode of IPS liquid crystal display [D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, 2000. (in Chinese)
- [5] 费民权,费悦. MVA 模式 TFT-LCD 用彩色滤光片制程解析[J]. 现代显示, 2009, 98:28-33.
Fei M Q, Fei Y. The process analysis of MVA mode TFT-LCD color filter [J]. *Advanced Display*, 2009, 98:28-33. (in Chinese)
- [6] 张方辉,张麦丽,许淑惠. 液晶显示器用玻璃衬垫的探讨[J]. 玻璃与搪瓷, 2005, 33(2):34-51.
Zhang F H, Zhang M L, Xu S H. Research on LCD-Glass spacers [J]. *Glass & Enamel*, 2005, 33(2): 34-51. (in Chinese)
- [7] Jinook K, Tae-joon S, Ju H K, *et al.* Formation of the overcoat layer and column spacer for TFT-LCD using capillary force lithography [J]. *Displays*, 2010, 31(2): 82-86.
- [8] 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 Crystal and Displays*, 2011, 26(5): 604-607. (in Chinese)
- [9] 张麦丽,王秀峰,张方辉,等. 液晶显示器用隔垫物的研究现状与最新进展[J]. 液晶与显示, 2004, 19(1):24-29.
Zhang M L, Wang X F, Zhang F H, *et al.* Status and future prospects of LCD-spacer [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystal and Displays*, 2004, 19(1): 24-29. (in Chinese)
- [10] 范志新,陈久琳,章红林. 液晶显示器用衬垫料的扫描电镜图像[J]. 光学技术, 2002, 28(2):189-190.
Fan Z X, Chen J L, Zhang H L. SEM photograph of LCD-spacer [J]. *Optical Technique*, 2002, 28(2): 189-190. (in Chinese)

作者简介:范应娟(1978—),女,重庆万州人,硕士,讲师,主要从事液晶显示与半导体照明的研究。E-mail:ci.ming@163.com